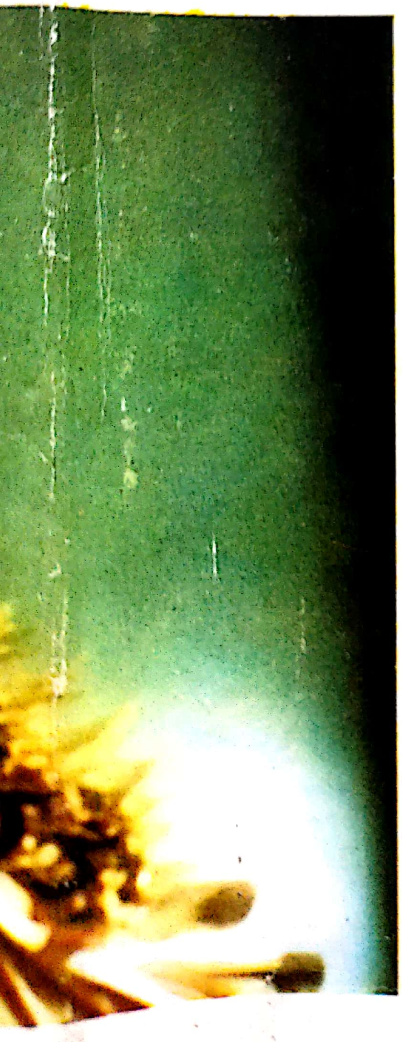
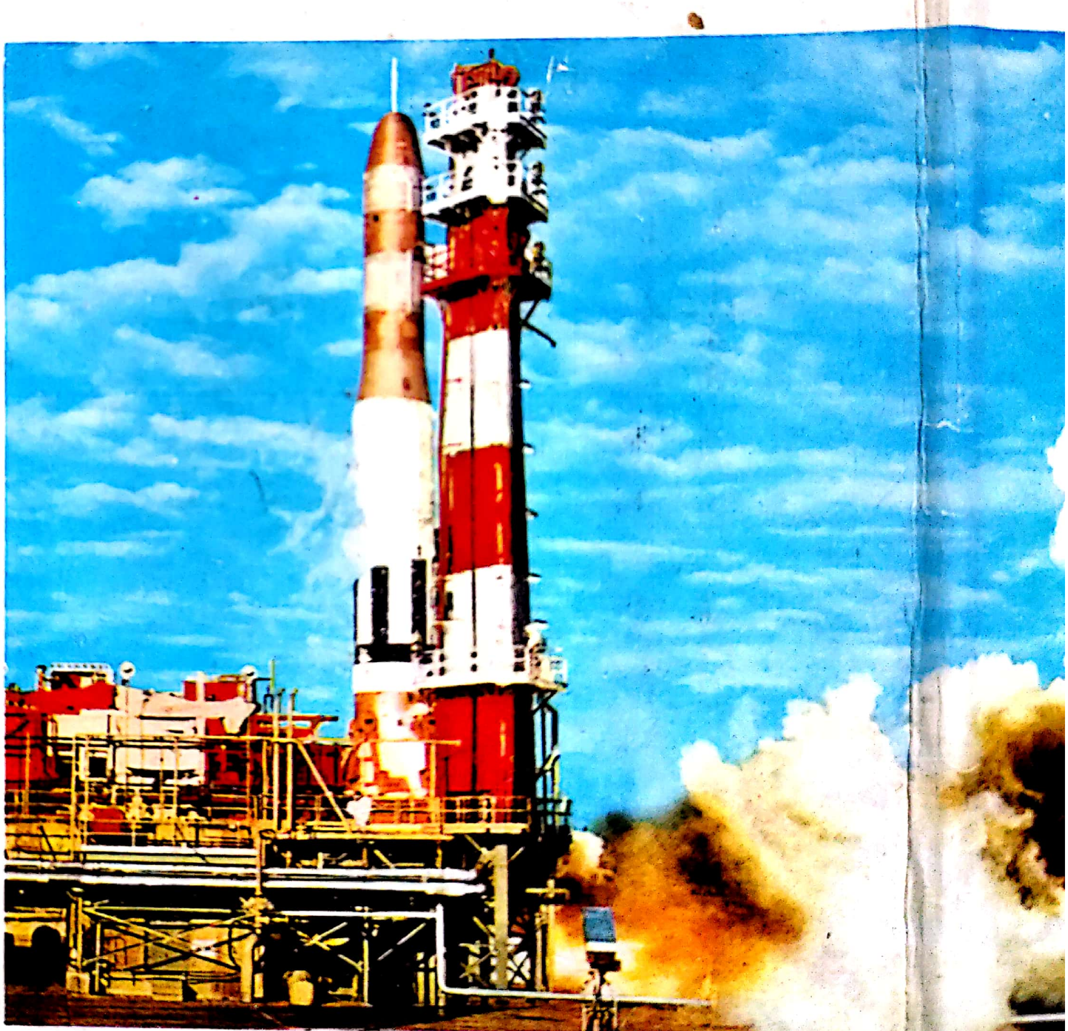
ISTORIA
GENERALĂ
A
ȘTIINȚEI

ȘTIINȚA CONTEMPORANĂ

**

VOLUMUL IV





Editura științifică și enciclopedică

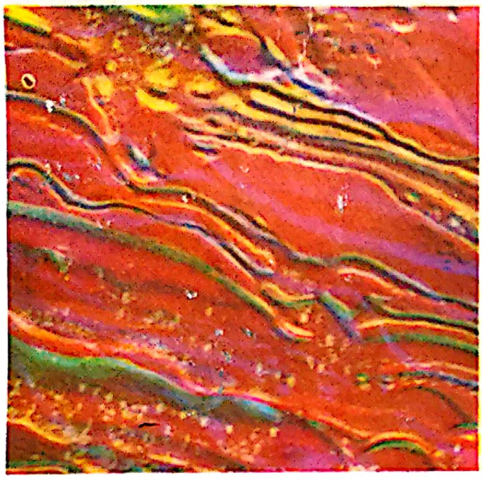
ILUSTRAȚIILE DE PE SUPRACOPERTĂ

Tranzistori montați în scară,
pentru amplificarea fluxului de electroni

Lansarea unei rachete spațiale

Variația indicelui de refracție
al unui amestec de două lichide
transparente

Flacăra unei bujii, înregistrată
cu un interferometru

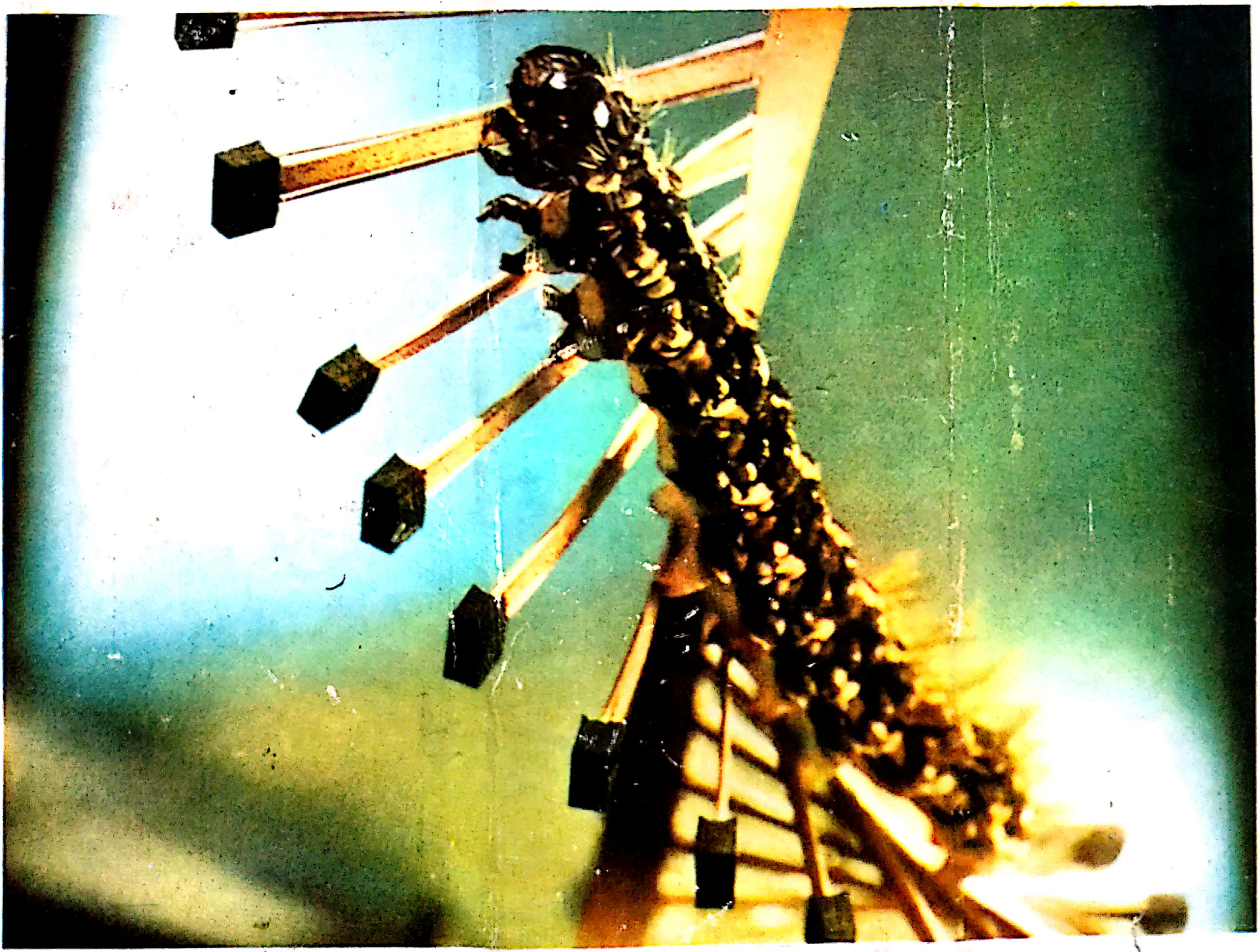


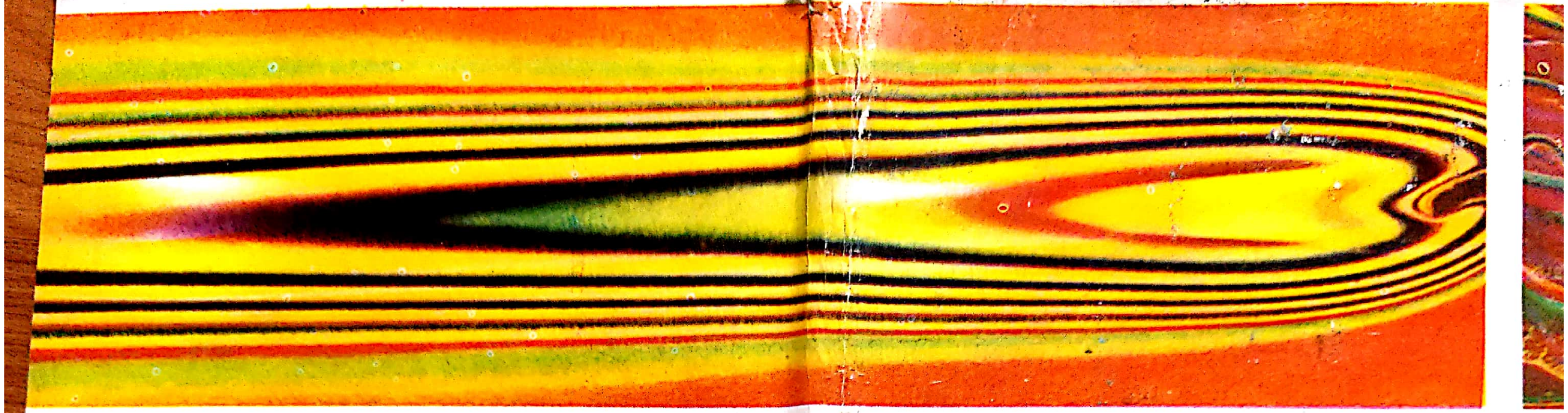
ȘTIINȚA
CONTEMPORANĂ
**

ISTORIA GENERALĂ A ȘTIINȚEI IV

ISTORIA GENERALĂ A ȘTIINȚEI

VOLUMUL IV





ISTORIA GENERALĂ A ȘTIINȚEI

SERIE PUBLICATĂ SUB CONDUCEREA LUI RENÉ TATON

VOLUMUL ÎNTÎI
ȘTIINȚA ANTICĂ ȘI MEDIEVALĂ
De la origini la 1450

VOLUMUL AL DOILEA
ȘTIINȚA MODERNĂ
De la 1450 la 1800

VOLUMUL AL TREILEA
ȘTIINȚA CONTEMPORANĂ
Secolul al XIX-lea

VOLUMUL AL PATRULEA
ȘTIINȚA CONTEMPORANĂ
Secolul al XX-lea

Lei 62

Acest ultim volum al Istoriei generale a științei este consacrat dezvoltării științei în secolul al XX-lea, perioadă în care nivelul atins de știința contemporană i-a conferit un rol din ce în ce mai important în economia tuturor țărilor, ca și în existența cotidiană.

Secolul al XX-lea marchează o etapă nouă în cercetarea științifică: activitatea de cercetare este desfășurată de colective. Apariția și extinderea cercetării în echipă a fost impusă mai ales de progresul extrem de rapid al cunoștințelor și în consecință de specializarea din ce în ce mai îngustă, în profunzime, în toate domeniile și ramurile științei. Acesta este și motivul pentru care la elaborarea ultimului volum al lucrării de față a participat un colectiv mult mai numeros de autori (dublu față de precedentele volume).

Cu toate acestea, volumul a fost realizat ca un tot unitar, sub atenta coordonare a lui René Taton (director științific la Centrul Național de Cercetări Științifice al Franței), oferindu-ne un tablou general, sintetic, al dezvoltării științei contemporane, din care se evidențiază marile cuceriri ale secolului nostru (cibernetica, radioastronomia, cosmonautica, teoria relativității, fizica atomică și nucleară, radiochimia, biochimia, biofizica etc.).

ŞTIINŢA CONTEMPORANĂ

✱✱

AU COLABORAT LA ACEASTĂ LUCRARE

GEORGES ALLARD, profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris.
PIERRE AUGER, director general al Organismului european de cercetări spaţiale.
† EDMOND BAUER, profesor onorific la Facultatea de ştiinţe din Paris.
BUOBAKER BEN YAHIA, director ştiinţific la Universitatea din Tunis.
JOSEPH-HENRY BIGAY, astronom adjunct la Observatorul din Lyon.
LOUIS DE BROGLIE, laureat al premiului Nobel, secretar permanent al Academiei de ştiinţe.
JEAN CHESNEAUX, director de studii la Şcoala de Înalte Studii.
PIERRE COSTABEL, director de studii la Şcoala de Înalte Studii.
PAUL COUDERC, astronom titular la Observatorul din Paris.
ROBERT COURRIER, secretar permanent al Academiei de ştiinţe.
ANDRÉ DANJON, membru la Institut de France, director onorific al Observatorului din Paris.
† GEORGES DARMOIS, membru la Institut de France.
ROBERT DEBRÉ, membru la Institut de France şi al Academiei de medicină.
JEAN-FRANÇOIS DENISSE, director al Observatorului din Paris.
ARNAUD DENJOY, membru la Institut de France.
GEORGES DESBUQUOIS, profesor la Facultatea de medicină din Tours.
JEAN DIEUDONNÉ, profesor la Institutul de Înalte Studii Ştiinţifice.
JEAN DUFAY, membru la Institut de France.
DANIEL DUGUÉ, profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris.
MAURICE DURAND, director de studii la Şcoala de Înalte Studii.
CHARLES FEHRENBACH, director al Observatorului din Marsilia.
JEAN FILLIOZAT, profesor la Collège de France.
MAURICE FRÉCHET, membru la Institut de France.
RAYMOND FURON, profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris.
LUCIEN GODEAUX, membru al Academiei Regale din Belgia.
ANDRÉ GUINIER, profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris.
ANDRÉ HERPIN, şef de serviciu la Centrul de studii nucleare din Saclay.
PIERRE HUARD, profesor la Facultatea de medicină din Rennes.
AARON IHDE, profesor la Facultatea din Wisconsin, Madison, Wisc. S.U.A.
MAURICE JANET, profesor onorific la Facultatea de ştiinţe din Paris.
LOUIS JAUNEAU, director ştiinţific la Centrul naţional de cercetări ştiinţifice
† RAYMOND KEHL, profesor la Facultatea de medicină din Lyon.
ANDRÉ LALLEMAND, membru la Institut de France.
MICHEL LANGEVIN, director ştiinţific la Centrul naţional de cercetări ştiinţifice.
FRANÇOIS LE LIONNAIS, preşedintele Asociaţiei scriitorilor de lucrări ştiinţifice din Franţa.
JEAN LE MÉZEC, inginer de telecomunicaţii la C.N.E.T.
JEAN-FRANÇOIS LEROY, subdirector la Muzeul naţional de istorie naturală.
JAQUES LÉVY, astronom la Observatorul din Paris.
PIERRE MARZIN, director la Centrul naţional de studii pentru telecomunicaţii.
JEAN-PAUL MATHIEU, profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris.
EVERETT MENDELSOHN, Universitatea Harvard, Cambridge, S.U.A.
PAUL MONTEL, membru la Institut de France.
PAUL MULLER, astronom la Observatorul din Paris.
ROGER NATAF, director ştiinţific la Centrul naţional de cercetări ştiinţifice.
JEAN ORCEL, membru la Institut de France.
JEAN-CLAUDE PECKER, profesor la Collège de France.
JEAN PIVETEAU, membru la Institut de France.
PIERRE RADVANYI, director ştiinţific la Centrul naţional de cercetări ştiinţifice.
VASCO RONCHI, director al Institutului naţional de optică, Firenze-Arcetri, Italia.
JEAN RÖSCH, profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris.
PIERRE TARDI, membru la Institut de France.
RENÉ TATON, director ştiinţific la Centrul naţional de cercetări ştiinţifice.
JEAN TEILLAC, profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris.
ANDRÉE TÉTRY, director adjunct la Şcoala de Înalte Studii.
MARIE-ANTOINETTE TONNELAT, profesor la Facultatea de ştiinţe din Paris.
ADOLF P. IUŞKEVICI, de la Institutul de istoria ştiinţei şi tehnicii din Moscova.
† VASILI P. ZUBOV, de la Institutul de istoria ştiinţei şi tehnicii din Moscova.

Amănunte în legătură cu contribuţia fiecărui autor sînt date în tabla generală de materii, de la sfîrşitul volumului.

ISTORIA GENERALĂ A ŞTIINŢEI

PUBLICATĂ SUB DIRECŢIA LUI
RENÉ TATON
DIRECTOR ŞTIINŢIFIC LA CENTRUL NAŢIONAL DE CERCETĂRI ŞTIINŢIFICE

VOLUMUL **IV**

ȘTIINȚA CONTEMPORANĂ

**

Secolul al XX-lea

G. ALLARD, P. AUGER, E. BAUER, B. BEN YAHIA,
J.-H. BIGAY, L. DE BROGLIE, J. CHESNEAUX, P. COSTABEL,
P. COUDERC, R. COURRIER, A. DANJON, G. DARMOIS,
R. DEBRÉ, J.-F. DENISSE, A. DENJOY, G. DESBUQUOIS,
J. DIEUDONNÉ, J. DUFAY, D. DUGUÉ, M. DURAND,
CH. FEHRENBACH,
J. FILLIOZAT, M. FRÉCHET, R. FURON, L. GODEAUX,
A. GUINIER, A. HERPIN, P. HUARD, A. IHDE,
M. JANET, L. JAUNEAU, R. KEHL, A. LALLEMAND,
M. LANGEVIN, F. LE LIONNAIS, J. LE MÉZEC,
J.-F. LEROY, J. LÉVY, P. MARZIN, J.-P. MATHIEU,
E. MENDELSOHN, P. MONTEL, P. MULLER, R. NATAF,
J. ORCEL, J-C. PECKER, J. PIVETEAU, P. RADVANYI,
V. RONCHI, J. RÖSCH, P. TARDI, R. TATON,
J. TEILLAC, A. TÉTRY, M.-A. TONNELAT,
A.P. IUŞKEVICI, V.P. ZUBOV.

EDITURA ŞTIINŢIFICĂ ŞI ENCICLOPEDICĂ
BUCUREŞTI, 1976

TRADUCERE DE
THEODOR ROȘESCU • ȘTEFAN GHEORGHIȚĂ • ION MIHAI GANEA

NOTELE LA VERSIUNEA ÎN LIMBA ROMÂNĂ
AU FOST ÎNTOCMITE DE:

SOLOMON MARCUS (S.M.), **NICOLAIE IONESCU-PALLAS** (N.I.-P.), **CONSTANTIN GEORGE MACAROVICI** (C.G.M.), **LIVIU CONSTANTINESCU** (L.C.), **V. LĂZĂRESCU** (V.L.), **ION MIHAI GANEA** (I.M.G.), **VLADIMIR EȘEANU** (V.E.), **ION STIOPOIU** (I.S.), **GRIGORE STRUNGARU** (Gr.S.), **VALERIA MAX-FIRĂ** (V.M.-F.), **C. MOTAȘ** (C.M.), **VICTOR SĂHLEANU** (V.S.), **LUCIAN ATANASIU** (L.A.), **VENERA IONESCU** (V.I.)

HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES
Publiée sous la direction de
RENÉ TATON

Tome III
LA SCIENCE CONTEMPORAINE
Volume II
LE XXe SIÈCLE

© 1964, PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

COPERTA ȘI SUPRACOPERTA DE
VAL MUNTEANU

PREZENTAREA GRAFICĂ DE
GHEORGHE POPOVICI

Prefață

De la începutul secolului nostru și, mai ales, după cel de-al doilea război mondial, știința apare din ce în ce mai clar ca un element determinant al viitorului omenirii. Desigur, în primul rînd științele aplicative și cele tehnice sînt cele care intervin direct și într-un mod din ce în ce mai pregnant în existența noastră zilnică și tocmai în vederea creșterii puterii materiale a țărilor lor, majoritatea guvernelor fac acum eforturi de a folosi o politică eficientă de dezvoltare a „cercetării științifice". Dar progresul tehnicii depinde într-un mod din ce în ce mai riguros de cel al științelor pure, după cum și invers, fiecare inovație tehnică este imediat folosită de teoreticieni. Astfel, orice acțiune coerentă de ansamblu îndreptată spre dezvoltarea cercetării tehnice trebuie să se sprijine pe cercetarea fundamentală.

În timp ce în secolele al XVII-lea și al XVIII-lea progresul științific rezulta mai ales din contribuții individuale ale unor amatori sau savanți subvenționați de către monarhi sau academii, secolul al XIX-lea a fost martorul apariției colaborării între cercetători, în laboratoare și institute de cercetare create pe lîngă instituțiile de învățămînt superior. În secolul al XX-lea această evoluție spre lucrul de echipă s-a accelerat spre a compensa efectele specializării mereu crescînde impusă de dezvoltarea rapidă a domeniilor științei și pentru a permite o mai bună utilizare a aparaturii din ce în ce mai costisitoare cerută de efectuarea lucrărilor de cercetare. Este probabil că valoarea culturală profundă a științei ar fi fost insuficientă pentru a-i asigura sprijinul material din ce în ce mai important pe care îl cer progresele ei. Din fericire, această creștere constantă a bugetelor destinate cercetării științifice și tehnice a fost ușurată de conștiința faptului că viitorul fiecărei țări este condiționat într-o mare măsură de eforturile pe care consimte să le facă în acest domeniu.

Prin însăși rapiditatea sa și, chiar mai mult, prin repercusiunile sale tehnice, acest avînt al științei a trezit anumite temeri, uneori justificate. Pe plan intelectual, extinderea continuă a domeniului științei, tehnicitatea crescîndă a teoriilor și descoperirilor și specializarea din ce în ce mai pronunțată a majorității cercetătorilor, riscă să creeze o lipsă de înțelegere din ce în ce mai accentuată între cei care participă la acest progres și restul omenirii, care, neputîndu-i aprecia spiritul, nu-i judecă decît consecințele materiale.

Această contradicţie este dealtfel agravată de utilizarea imediată a numeroase descoperiri în scopuri militare. Dacă explozia bombei de la Hiroşima a dezvăluit imensitatea puterii de distrugere pe care progresul tehnic a pus-o în mîinile omului, ea n-a încetinit totuşi întrecerea în acest domeniu. Desigur, ştiinţa profită într-o mare măsură de această situaţie şi importante rezultate obţinute în fizica nucleară sau în cercetarea spaţială ar fi fost fără îndoială considerabil întîrziate fără ajutorul masiv şi oportun al bugetelor militare sau paramilitare. Dar nu se pot ascunde pericolele extreme ce ameninţă omenirea dintr-o astfel de stare de fapt. Mai multe consecinţe nefaste decurg de altminteri direct, pe de o parte din politica secretului impus anumitor cercetări susceptibile de aplicaţii militare, iar pe de alta din teama unor savanţi cărora le repugnă continuarea cercetărilor al căror succes ar putea să conducă la punerea la punct a noi metode de distrugere.

Evoluţia actuală a vieţii ştiinţifice comportă un alt risc. Coordonarea necesară a lucrărilor de cercetare şi intervenţia indispensabilă a puterii politice în repartizarea creditelor acordate riscă să frîneze avîntul creator al cercetătorilor — micşorat într-o oarecare măsură de obligaţiile lucrului în echipe — şi să conducă la o neglijare relativă a cercetărilor dezinteresate. Mai mult chiar, anumiţi conducători politici pot încerca să impună o orientare autoritară, dacă nu descoperirilor însăşi, cel puţin interpretării care li se dă. Mai multe fapte relativ recente au confirmat realitatea unui astfel de pericol, dar avîntul cooperării ştiinţifice internaţionale în decursul ultimilor ani a îmbunătăţit considerabil situaţia. Această cooperare, directă şi sinceră, conduce efectiv pe savanţii din lumea întreagă ca să se considere, peste oricare frontiere politice sau ideologice, ca membrii unei aceleiaşi comunităţi, solidari în opera de adevăr pe care o urmăresc.

Deşi nu se pot dezinteresa de diferitele consecinţe ale descoperirilor lor, savanţii de astăzi au efectiv aceleaşi obiective de ansamblu ca şi predecesorii lor: crearea teoriilor abstracte, descrierea lumii fizice şi descoperirea legilor care o guvernează, studiul structurii, comportării, mecanismelor şi evoluţiei organismelor vii. Progresele realizate de la începutul secolului al XX-lea, în aceste diferite direcţii sînt imense şi depăşesc cu mult în număr şi în amploare pe cele din oricare altă epocă din istoria omenirii. Totuşi, nu putem judeca obiectiv ştiinţa actuală decît scufundînd-o din nou în marele curent al istoriei. Anumiţi admiratori prea entuziaşti ai succeselor şi descoperirilor contemporane, subestimează de fapt importanţa admirabilei opere realizate, într-un ritm desigur mai lent, dar cu mijloace umane şi materiale mult mai limitate, de către savanţii secolelor trecute.

◆

Prelungind studiul întreprins în volumele precedente ale acestei colecţii, ultimul volum din *Istoria generală a ştiinţei* încearcă să întocmească un tablou cît mai complet şi obiectiv cu putinţă al operei ştiinţifice a secolului al XX-lea, reintegrată în perspectiva generală a istoriei ştiinţifice a omenirii. Dacă concepţia de ansamblu a acestui volum se leagă strîns de cea pe care am adoptat-o mai înainte, anumite particularități, ce decurg din natura și din imensitatea domeniului explorat, trebuie să fie semnalate.

Noi am notat deja pentru secolul al XIX-lea dezvoltarea din ce în ce mai rapidă a domeniului științei, creșterea exponențială a numărului de publicații și tehnicitatea din ce în ce mai accentuată a majorității cercetărilor. În secolul al XX-lea aceste particularități diferite se vor afirma mult mai limpede, mai ales în ceea ce privește perioada recentă. Se înțeleg ușor dificultățile pe care le-ar antrena pentru lucrarea noastră această accelerare a ritmului progresului. În timp ce cei mai remarcabili savanți contemporani afirmă că nu cunosc bine decît un sector destul de restrîns al științei, mai este posibil încă de a prezenta un bilanț de ansamblu al acestei evoluții? A răspunde negativ la această întrebare ar însemna a nega orice valoare profundă a istoriei științelor, reducînd-o la un fel de arheologie a cunoașterii istorice. Dimpotrivă, noi credem că istoria poate și trebuie să fie strîns legată de dezvoltările cele mai recente. Doar această concepție poate reda descoperirilor actuale deplina lor semnificație, atrăgînd atenția cercetătorilor asupra caracterului provizoriu al ipotezelor și al teoriilor, chiar a celor adoptate aproape în unanimitate de savanții unei generații. Gîndită de minți luminate, istoria astfel concepută poate avea chiar o valoare prospectivă și poate semnala anumite direcții probabile ale progreselor viitoare. În ceea ce privește publicul cultivat, care va urmări astfel perspectivele generale ale dezvoltării diferitelor ramuri ale științei, credem că el va putea apoi aprecia mai bine spiritul și tendințele științei actuale.

■

Numeroși colaboratori care au participat la elaborarea acestei lucrări sînt savanți cunoscuți sau cercetători competenți care au contribuit ei înșiși la progresul disciplinelor a căror evoluție o studiază. Desigur că, în ciuda efortului de sinteză și de prezentare consimțit de acești autori, în ciuda activității de coordonare pe care am efectuat-o cu ajutorul lor, o astfel de lucrare cere un incontestabil efort celor care vor s-o citească cu folos. Deși orice dezvoltare de prisos a fost evitată, ne-a fost imposibil să renunțăm la utilizarea anumitor termeni științifici și chiar a cîtorva formule sau la explicarea unor teorii. O astfel de renunțare ar fi golit lucrarea de conținutul său și ar fi redus-o la nivelul povestirilor anecdotice de vulgarizare.

Planul adoptat a încercat să urmărească în liniile sale mari structura actuală a științei. Dacă el nu ne satisface pe deplin, cel puțin prezența unei table de materii amănunțite și a unui indice de noțiuni permite să se atenueze cu ușurință imposibilitatea de a se realiza o adevărată clasificare liniară a științelor. În privința indicelui de nume, în ciuda anumitor lipsuri de informație, el conține un material documentar al cărui interes va fi desigur apreciat de numeroși cititori.

La capătul acestui vast studiu care ne-a permis să urmărim epopeea științifică a omenirii de la primele civilizații pînă la dezvoltările cele mai recente, am dori să adresăm cele mai sincere mulțumiri tuturor colaboratorilor acestei *Istorii generale a științei* care au acceptat să se supună diverselor cerințe impuse de realizarea unei lucrări atît de vaste, inedită în felul său, ca și tuturor celor al căror prețios ajutor ne-a permis de a o duce la bun sfîrșit.

RENÉ TATON

Noua faţă a ştiinţei

Nimeni nu se mai îndoieşte de faptul că ştiinţa a devenit în secolul al XX-lea un important factor social. Spre ea îşi îndreaptă atenţia noile naţiuni în căutarea unui progres economic rapid şi tot spre ea se îndreaptă vechile naţiuni cînd devine necesară o întărire a forţei lor pentru depăşirea crizelor politice sau financiare. Totuşi, nu cunoaşterea ca atare este cea care furnizează soluţia acestor probleme, ci acţiunea ce poate rezulta în urma descoperirii noilor resurse pe care ea le promite.

Deci în secolul al XX-lea devine mult mai greu, decît în secolul al XIX-lea, să se separe cunoaşterea ştiinţifică de acţiunea ce decurge din ea şi această legătură strînsă comportă consecinţe importante: pe de o parte, timpul ce separă o descoperire în laborator de intrarea aplicaţiilor sale în domeniul social s-a scurtat considerabil. De la ordinul zecilor de ani, la mijlocul secolului al XIX-lea, această perioadă de gestaţie se reduce acum la cîteva zeci de luni sau uneori chiar mult mai puţin. Urmările acestei scurtări se fac simţite mai ales asupra economiei întreprinderilor, dar ele pot avea şi o importanţă socială şi politică, ca în cazul armamentelor. Pe de altă parte, savantul, omul care-şi consacră cea mai mare parte a activităţii sale cercetării ştiinţifice, este puternic şi continuu solicitat să se preocupe el însuşi de ceea ce poate rezulta din lucrările sale, destinate la origine dezvoltării cunoaşterii pure. Psihologia cercetătorului de laborator se transformă sub ochii noştri, şi această transformare are în mod necesar urmări însăşi asupra progresului ştiinţei. În sfîrşit, mijloacele de care poate dispune savantul pentru lucrările sale, chiar cînd acestea sînt aparent foarte depărtate de orice aplicaţii rentabile, au crescut într-un mod care ar fi fost considerat de-a dreptul extravagant în epoca lui Pasteur, în funcţie de speranţele pe care guvernele şi întreprinderile şi le pun în mod general în rezultatele cercetărilor ştiinţifice. Aceste mijloace pun la îndemîna cercetătorilor instalaţii şi materiale altădată inaccesibile, şi a căror importanţă îi conduce chiar să se constituie în grupe şi în echipe de lucru pentru a le asigura exploatarea. Bineînţeles, aceste grupe şi echipe au mari necesităţi de personal, fie că e vorba de cercetători ştiinţifici propriu-zişi sau de asistenţi şi ingineri, indispensabili în laboratoarele moderne. Formarea acestui personal este ea însăşi o problemă de mare actualitate pentru toate ţările.

Care sînt deci caracterele acestei științe a secolului al XX-lea care au condus la astfel de schimbări în însăși modul în care ea este exercitată și învățată și care au plasat-o atît de sus în ierarhia factorilor sociali? M-aș mulțumi aici să examinez patru din acestea, relative la viteza de creștere a cunoștințelor, la lărgirea domeniilor în care se exercită aceste cunoștințe, la topologia acestor domenii — adică la considerarea situațiilor și relațiilor lor reciproce — și, în sfîrșit, la o transformare calitativă care a așezat studiile de structură pe primul plan al preocupărilor cercetătorilor.

DEZVOLTAREA ȘTIINȚEI. S-a spus — și s-a repetat — că știința, în ansamblul său, urmează o creștere exponențială. Într-adevăr, toate criteriile care permit evaluarea cantitativă a științei — numărul de cercetători, numărul de publicații originale pe an, numărul de descoperiri în același interval, sau rezultatele ce au condus la aplicații — admit o dublare la fiecare deceniu. În aceste condiții, istoria științei din cea de-a doua jumătate a secolului al XIX-lea ar fi trebuit să se repete în prima jumătate a secolului al XX-lea, dar cu cinci octave mai sus; și, într-un anumit mod, această afirmație este destul de adevărată, dar numai din punctul de vedere al statisticianului și pentru ansamblul științelor, căci, la o analiză mai aprofundată, această afirmație se dovedește foarte depărtată de realitate. Mai întîi, de remarcat că o creștere de treizeci de ori a transformat complet poziția științei în societate — în timp ce multe alte activități umane, chiar în domeniul spiritual, sînt departe de a urma o dezvoltare atît de accelerată, ele doar dublîndu-se sau triplîndu-se. Știința a încetat astfel să fie un factor social cu acțiune lentă și slabă, devenind un factor cu acțiune rapidă și puternică. În consecință, influența sa a deplasat echilibrul dintre alți diverși factori sociali, iar această deplasare, la rîndul ei, trebuia să acționeze asupra dezvoltării însăși a științei. Astfel, de exemplu, nivelul industrial, sau, mai precis, poziția științelor în presă, cărți și cotidiene, a influențat puternic caracterul însuși al dezvoltării științifice încă din primele decenii ale secolului și încă și mai mult în timpul ultimilor două decenii ale jumătății secolului.

Pe de altă parte, o creștere exponențială este departe de a da o imagine corectă a progresului științei, mai ales cînd se analizează acesta pe discipline separate, pe regiuni ale lumii, sau pe perioade de timp. În ceea ce privește diferitele ramuri ale științei, acestea nu se găsesc în același moment, în același stadiu al dezvoltării lor, iar anumite discipline complexe sau care au apărut mai de curînd se pot găsi încă în stadiul definirii noțiunilor de bază sau chiar a celui al acumulării faptelor și clasificării lor, în timp ce altele își elaborează deja marile principii generale: să ne gîndim, de exemplu, la științele etnologice și la fizică. Această situație relativă a variat considerabil în cursul ultimei jumătăți de secol, transformînd astfel sistemul interacțiunilor reciproce ale diferitelor ramuri ale științei și obligînd la o revizuire profundă a clasificărilor lor. Diferențe asemănătoare în viteza de creștere se fac simțite chiar în interiorul anumitor discipline, între aspectele lor teoretice și cele experimentale, primele suferind uneori transformări bruște considerabile prin intervenția unui singur cercetător sau a unui mic grup, în timp ce progresele experimentale urmează în general o mişcare mai regulată, exceptînd anumite descoperiri senzaționale. De aceea s-a putut constata în domeniul fizicii, în cursul primei jumătăți a secolului al XX-lea, o întîrziere a teoriei față de experiență, apoi un progres fulgerător al teoriei, care a ridicat numeroase probleme noi, iar în epoca contemporană din contră, o anumită dificultate a teoriei de a îngloba adevărata avalanșe a rezultatelor experimentale obținute în domeniul particulelor elementare. Marea strategie științifică ar consta atunci în concentrarea eforturilor cînd asupra unei discipline, cînd asupra alteia, asupra teoriei sau asupra experienței: dar cercetătorii sînt în mod necesar destul de puternic specializați prin însăși funcțiile lor, iar adaptarea lor la un domeniu nou, deși este adesea posibilă, necesită mult timp și eforturi. Și apoi mai există rigiditatea cadrelor administrative și sociale ale cercetării... Totuși, se asistă la mișcări interesante ca de exemplu deplasarea a numeroși fizicieni și chimiști spre biologia modernă, celulară și moleculară.

Dezvoltarea, exponențială sau nu, dar în orice caz foarte rapidă, a tuturor disciplinelor, le-a condus la extinderea domeniului în care omul pătrunde prin cunoștințele sale și domnește prin acțiunile sale. Fie că este vorba de dimensiuni sau de durate, de energii sau de presiuni, scările valorice ale acestor parametri care sînt în mod curent parcurse de aparatele noastre au crescut cu numeroase ordine de mărime în cursul ultimilor cincizeci de ani. În timp ce în secolul trecut se considera că cucerirea uneia sau a două zecimale putea justifica o carieră științifică, savanții contemporani ne prezintă dintr-o dată cîte cinci zecimale noi. A fost necesar un nou sistem de denumiri, vechile mili- și kilo- nemaifiind suficiente, ca și micro- și mega-, în timp ce gigavolții și nanosecundele au devenit denumiri curente. Este natural și în ordinea lucrurilor ca omul să depășească domeniile accesibile organelor sale de simț, dar o astfel de explozie nu era bănuită de nimeni, nici chiar de autorii de anticipații științifice. Iată cîteva cifre care redau în puteri ale lui zece scările accesibile în 1900 și în 1960: lungimile au trecut de la 10^{26} la 10^{40}, timpul de la 10^{10} la 10^{16}, temperaturile de la 10^{5} la 10^{11}, presiunile de la 10^{10} la 10^{16}, adică în fiecare caz depășiri de ordinul milionului și chiar mai mari. Ar trebui menționați și alți parametri pe care-i vom reîntîlni mai tîrziu, cel de puritate și cel de precizie. Produsele chimic pure de altădată sînt complet depășite de metalele și metaloizii purificați prin metoda zonală: se atinge în mod obișnuit milionimea. Și pretențiile atomiștilor au condus la fabricarea a numeroase corpuri de o puritate și mai mare. În cazul anumitor cristale, prezența unor impurități în fracțiuni de miliardimi este deja detectabilă. Astăzi fizicianul este adesea mai exigent decît chimistul în ceea ce privește puritatea substanțelor folosite sau cea a suprafețelor.

Problema care se pune în mod firesc este atunci următoarea: cît va mai putea dura această cursă vertiginoasă? Nu ne apropiem chiar de dimensiunile impuse de structura Universului nostru? Să considerăm cazul lungimilor. Dimensiunea totală a Universului accesibil cu instrumentele radioastronomice este de ordinul a zece miliarde de ani-lumină. Mai departe, deplasarea spectrului devine astfel încît ar trebui curînd să renunțăm a cunoaște orice ar fi. În sensul dimensiunilor mici sînt unele indicații asupra existenței unei lungimi minime, sub care noțiunile de distanță nu ar mai fi aplicabile. Scara totală a lungimilor ar fi de ordinul a 40 pînă la 50 de puteri ale lui zece și nu s-ar putea depăși. Scara duratelor este fără îndoială destul de strîns legată de cea a lungimilor pentru a fi supusă aceleiași limitări. Cazul altor parametri se poate prezenta în mod diferit, totuși pare probabil că nu vom putea adăuga indefinit cîte șase factori egali cu zece la fiecare jumătate de secol!

EXTINDEREA ȘI TOPOGRAFIA DOMENIILOR ȘTIINȚIFICE. Termenii pe care i-am folosit pentru a descrie dezvoltarea cunoștințelor științifice sînt împrumutați de la imagini mai mult sau mai puțin vizuale și aproape geometrice: extinderea domeniilor, explorarea lor, legăturile lor posibile. În modul acesta sîntem conduși la anumite considerații — pe care matematicienii le-ar recunoaște poate ca topologice — pentru a caracteriza situația reciprocă a domeniilor de cunoaștere și de ignoranță din marele ansamblu din ceea ce, într-o bună zi, va putea fi efectiv cunoscut. Mi se pare că și aici s-a produs o importantă schimbare în cursul ultimei jumătăți de secol. Vechile discipline clasice, aprofundînd și dezvoltînd domeniul lor tradițional, au realizat între ele legături în anumite zone limită, dînd naștere la o serie de discipline mixte, ca biochimia și biofizica, chimia fizică și chimia matematică, care au luat loc alături de astrofizică și de fizica matematică. S-ar putea spune că științele formează acum o adevărată rețea în loc de seria liniară a clasificării lui Auguste Comte.

Am putea chiar, mergînd mai departe, să descriem vechea situație ca prezentînd insule de cunoștințe, înconjurate și separate de un vast ocean de ignoranță, în timp ce astăzi cunoștințele ar constitui mari continente legate prin istmuri, în interiorul cărora mai dăinuie evident încă multe mări interioare de ignoranță. Această imagine este poate prea optimistă, dar ea pare să reprezinte un simbol destul de corect al extraordinarei acțiuni de sinteză care se produce sub ochii noștri. Vom vedea mai departe pe ce baze se poate spera realizarea acestei sinteze, în timp ce tentativele mai vechi — efectuate pornind doar de la idei newtoniene — nu putuseră să conducă foarte departe. Trebuie adăugat că sentimentul de a participa la unul din momentele unei atît de grandioase acțiuni ar trebui să fie unul din motivele entuziasmului cercetătorului și gînditorului științific, care se suprapun satisfacțiilor aventurii și explorării. Dorința profundă de unitate care există normal în fiecare om, aceeași dorință care a condus altădată la stabilirea unor sisteme ale lumii, bazate pe analogii superficiale și chiar pe similitudini cu totul artificiale ale unor cuvinte, oferă astăzi, pentru oamenii de știință, satisfacții într-adevăr reale. Se poate spune, cu modestie și pentru a nu da false speranțe, că unele din marile sinteze parțiale deja clasice, ca aceea care cuprinde toate radiațiile electromagnetice, de la radiațiile gamma cosmice pînă la undele lungi radiofonice, sînt urmate în prezent de o serie de alte sinteze parțiale din ce în ce mai întinse, despre care nu se presupune că ar mai putea fi reconsiderate. Dacă insulele de cunoștințe au devenit continente, acestea nu sînt încă legate între ele într-un mod foarte sigur, dar aceasta ar putea avea loc în curînd. S-ar atinge atunci o fază a cercetărilor care ar aminti de perioada finală a asamblării pieselor unui joc de încercare a răbdării: se începe prin mici combinaţii locale, fără legături între ele, fără poziţii relative bine definite; apoi se formează punţi, se constituie o reţea şi nu mai rămîne decît să se umple golurile imaginii ale cărei trăsături mari sînt fixate definitiv. Totuşi, noi nu ne găsim încă în această situaţie şi lipsesc destule piese a căror formă nici nu o bănuim.

Această transformare a situaţiei cercetătorului în faţa naturii este, bineînţeles, rezultatul progresului general al cunoştinţelor. Într-o oarecare măsură este inevitabil ca faza continentelor să urmeze pe cea a insulelor, atunci cînd teritoriile comune cresc. Dar interesul este de a merge mai departe în analiza acestei dezvoltări, chiar dacă aceasta nu ar servi decît pentru a pregăti viitorul. Se vede astfel că evoluţia nu constă, în principiu, într-un fel de mărire progresivă a insulelor de care am vorbit mai sus; domeniile de cunoştinţe ni se prezintă uneori, de la distanţă, separate de regiuni necunoscute, ca acele incendii din păduri care se propagă rapid şi în salturi unind focarele noi cu cele vechi, care abia mai mocnesc. Cîteva din aceste salturi, ce corespund apariţiei unei idei în întregime noi, în jurul căreia se propagă cu o viteză cu totul neobişnuită un nou front de descoperiri, au avut loc în număr mare la sfîrşitul secolului trecut şi din nou în 1930, în fizică. Radiaţiile X, radioactivitatea, cuantele, pe de o parte şi teoria relativităţii, pe de alta, între 1895 şi 1905, urmate de lămurirea structurii atomului între 1913 şi 1928; apoi mecanica ondulatorie şi neutronul. În timpul acestor trei decenii s-au stabilit fundamentele ideilor actuale asupra constituţiei materiei la nivel atomic şi la nivel nuclear. Dezvoltările ulterioare au fost, într-o oarecare măsură, inevitabile.

Poate că am putea să ne permitem aici să propunem o diferenţiere între două categorii de descoperiri ştiinţifice, şi aceasta fără a face să intervină în nici un mod meritul savanţilor, ci mai degrabă poziţia descoperirilor lor, în perspectiva topologică dezvoltată mai înainte. Pentru a relua o expresie pe care am mai folosit-o, există descoperiri care sînt într-un anumit mod inevitabile, care trebuie să se producă într-un interval de timp destul de bine definit prin activitatea de cercetare şi numărul de cercetători din domeniul corespunzător al ştiinţei. Subliniem încă o dată că nu este vorba de meritul cercetătorului şi vom demonstra aceasta luînd ca prim exemplu descoperirea radiaţiilor X de către Röntgen. Se poate considera că, dat fiind numărul de fizicieni care se jucau cu tuburi Crookes, nu puteau trece mulţi ani pînă cînd efectele radiaţiilor X, pe ecrane fluorescente, pe plăci fotografice sau pe electroscoape, să fie observate. Aş pune alături pentru comparaţie o descoperire neinevitabilă, la numai cîţiva ani, cea a lui Henri Becquerel. Ar fi putut să treacă poate şi o jumătate de secol înainte de a se pune în evidenţă dezintegrarea uraniului. Descoperirea lui Röntgen a stat la originea lucrărilor lui von Laue, ale lui Bragg, ale lui Moseley etc. Ea constituie un exemplu din acele splendide lucrări care au permis o dezvoltare bruscă şi crearea unor punţi între domenii separate pînă atunci de insule de cunoştinţe, ca cele ale cristalelor, sau cea a semnificaţiei tabloului lui Mendeleev. Becquerel a înfipt dintr-o dată drapelul fizicienilor şi chimiştilor pe un continent nou.

În domeniul teoriei, comparaţii asemănătoare ar putea fi făcute între relativitatea restrînsă şi relativitatea generală. În ceea ce priveşte prima, Poincaré şi alţii au atins-o în treacăt: în plus, experienţele lui Michelson şi Morley produceau insomnii fizicienilor. În ceea ce priveşte a doua, fenomenele astronomice neexplicate ar fi putut să aştepte încă mulţi ani. Şi cuantele descoperite de Planck ar fi putut să nu apară decît 20 sau 30 ani mai tîrziu, impuse poate atunci de efectele fotoelectrice. Ne putem de altminteri imagina în cîte laboratoare s-ar fi putut face simultan (şi uneori s-au făcut) unele descoperiri care „pluteau în aer". Gîndiţi-vă din acest punct de vedere la descoperirile lui Röntgen şi Becquerel. În ceea ce priveşte pe Planck, nimeni nu se apropiase de soluţia sa a problemei spectrelor. Aceeaşi deosebire există, poate, şi între rolul lui Louis de Broglie şi cel al lui Schrödinger.

DISCONTINUITATE, STRUCTURĂ ŞI INFORMAŢIE. Este evident în orice caz că anumite descoperiri care au marcat, mai ales în fizică, anii din jurul lui 1900 sînt cele care au condus la domenii cu totul noi. Aş afirma chiar că ele au dat o orientare cu totul nouă fizicii şi, ca o consecinţă, şi altor discipline ca astronomia, biologia, chimia. Dacă această orientare ar trebui caracterizată printr-o noţiune simplă, aş alege-o pe cea de structură. O mare parte a ştiinţei secolului al XIX-lea fusese plasată sub semnul continuităţii legilor de tip newtonian. Termodinamica, electromagnetismul clasic reprezentau căi de dezvoltare ideale, şi se putea presupune că toate aspectele Universului vor sfîrşi prin a se încadra în astfel de legi. Este adevărat că anumite domenii rămîneau deosebit de îndărătnice — ca cel al spectrelor de linii, de exemplu, — şi că anumite mulţimi de fapte păreau să rămînă mult timp în categoria de „dată neexplicabilă", ca tabloul elementelor chimice. Dar exista speranţa de a reuşi să înţelegem lumea prin folosirea doar a legilor continue, aplicate poate unor elemente ireductibile, care trebuia, atunci acceptate ca atare. În rezumat, era vorba de un fel de prelungire a universului newtonian, conţinînd corpuri date iniţial şi neexplicabile, dar ale căror legături ar fi fost conduse de legi satisfăcătoare pentru spirit.

Deodată, chiar la începutul noului secol, s-a produs o spărtură care a introdus discontinuitatea chiar în mijlocul domeniului în care era cel mai puţin de aşteptat, cel al energiei. Energia, această mare cucerire a termodinamicii, această mărime fizică tipică, această substanţă simplă care se deplasa fără pierderi de la un sistem la altul, se găsea brusc structurată, schimburile încetau să mai asculte de frumoasele legi matematice continue şi erau prinse într-o aritmetică de aspect copilăresc. Dar aceasta nu constituia decît începutul unei mari transformări a ştiinţei, corespunzătoare unei orientări hotărîte spre studiul structurilor. Dacă alte discipline decît fizica n-au suferit o transformare atît de accentuată la introducerea cuantelor, influenţa metodelor de cercetare fizică conducînd la studii structurale s-a făcut totuşi simţită foarte puternic în chimia şi biologia secolului al XX-lea. Formulele dezvoltate de chimie au devenit adevărate modele, avînd dimensiuni şi unghiuri măsurabile. Analiza componentelor protoplasmei celulare a condus la recunoaşterea unor obiecte figurate din ce în ce mai mici atingînd dimensiunile moleculelor mari și făcînd din biologia moleculară o răscruce între fizică, chimie și biologie. S-ar putea spune că însăși matematica dezvoltă de cîteva zeci de ani concepte abstracte de natură structurală.

Printre noile domenii deschise științei prin studiile structurale trebuie citate cele ale corpului solid și ale macromoleculelor. În ultimul secol, corpurile solide erau considerate ca reprezentînd obiecte prea complicate pentru a putea fi corect descrise de știință și chiar pentru a fi cu folos studiate: obiectul ideal pentru cercetări rămînea gazul, ce se putea defini printr-un număr mic de parametri și, într-o mai mică măsură, lichidul, la care se descopereau deja structuri nepersistente, dificil de studiat. Cu excepția cristalelor, al căror studiu rămînea esențial macroscopic, solidele nu părea că trebuie să conducă la experiențe realmente reproductibile: mai multe probe dintr-un același corp se deosebeau unele de altele prin istoria lor, și chiar aceeași probă diferea de ea însăși, în timp, într-un mod practic imprevizibil. Una din marile cuceriri ale secolului al XX-lea este aceea de a fi reușit nu numai să învingă aceste dificultăți, dar chiar să le folosească extrem de puternic. Tocmai pentru că solidele au o istorie, ne putem servi de ele pentru a realiza memorii artificiale cu o capacitate nelimitată. În fond, se poate spune că practica empirică deja folosise din cele mai vechi timpuri aceste proprietăți ale solidelor: cu ele s-au fabricat totdeauna unelte și aparate, lor li s-au încredințat arhivele și mesajele, la ele s-a recurs pentru reconstituirea evenimentelor trecute. Dar numai acum știința, luînd în mîini corpul solid, va putea să-l folosească sistematic și complet.

În domeniul moleculelor mari, putem constata o evoluție de același ordin. În secolul trecut se făcea distincție între corpurile care puteau cristaliza și cele care rămîneau amorfe chiar în starea solidă, și care erau numite coloizi după unul din cazurile tipice, acela al gelatinei. Coloidul, dizolvat sau cel puțin dispersat într-un solvent ca apa, nu se descompunea în molecule sau în ioni precum „cristaloizii“, ci rămînea unit în grupări de dimensiuni cu mult mai mari, numite micelii, dovedind astfel completa ignoranță în ceea ce privește natura lor. Aceste micelii păreau dealtfel amorfe, variabile și — ca și solidele de mai sus — descurajante. Secolul nostru a schimbat toate acestea, pătrunzînd atît structura reală a miceliilor devenite macromolecule, cît și natura majorității „coloizilor“, deschizînd astfel un foarte mare capitol al biochimiei. Aceste studii de structură au condus, în plus, la realizarea unor molecule mari cu o constituție regulată numite polimeri înalți, care imită produșii naturali și chiar le-au extins domeniul.

Intrînd în amănuntele cele mai fine ale structurii anumitor macromolecule, știința secolului al XX-lea a putut, în sfîrșit, să recunoască natura suportului a ceea ce secolul precedent denumise prin termenul general de specificitate. De ce diversele proteine cu compoziții chimice globale absolut asemănătoare, ar prezenta proprietăți atît de radical diferite față de ființele vii sau unele față de altele? Acum știm că aceste proprietăți specifice sînt înscrise sub forma unei „informații“, adică a unor șiruri, sau, în mod general, a unor aranjamente în spațiu a elementelor de construcție ce pot fi foarte numeroase, dar aparținînd unui foarte mic număr de tipuri. Comparația cu informația conținută într-o pagină scrisă, aranjament particular de elemente numeroase aparţinînd alfabetului, este izbitoare. În legătură cu aceasta este poate instructiv de a se reaminti cum a fost folosită specificitatea în medicină, chiar înainte de a fi bănuită, cum a fost recunoscută, apoi analizată şi, în sfîrşit, reprodusă artificial. Această specificitate era oferită în mod natural de plante ale căror produse au o activitate recunoscută încă din antichitate. O specificitate mult mai precisă a apărut odată cu descoperirile lui Pasteur, ca produs natural — dar prin stimularea artificială — al animalelor. În secolul al XX-lea, anumitor compuşi chimici de sinteză li s-au recunoscut specificităţi remarcabile în lupta antibacteriană, aproape în acelaşi timp ca noilor produse naturale vegetale, antibioticele. În sfîrşit, studiile asupra structurii moleculare au permis înţelegerea anumitor specificităţi şi reproducerea artificială a unora dintre substanţele naturale. Studiile sistematice de biochimie farmaceutică modernă, cercetările de sinteză a moleculelor complexe, promit pentru viitor, odată cu o înţelegere mai completă a specificităţii, imense posibilităţi de acţiune medicală. Se ştie că teoria informaţiei a luat în toate ştiinţele un loc din ce în ce mai important care nu se datoreşte decît acestei analize structurale, căreia i-am semnalat dezvoltarea recentă şi legătura profundă cu teoria stării solide. O moleculă mare sau o genă cromozomică, o pagină scrisă, o înregistrare pe disc sau pe bandă magnetică, cartelă perforată, un clişeu fotografic, sînt tot atîtea suporturi solide ale unei informaţii conţinute într-o structură mai mult sau mai puţin microscopică.

Aceste cercetări asupra informaţiei pun într-o lumină nouă toată biologia, chimia şi multe alte discipline ştiinţifice din domeniul ştiinţelor umane, stabilind între ele legături şi treceri şi permiţîndu-le vederi de ansamblu cu totul nesperate acum cîţiva ani. O paralelă cu unificarea interdisciplinară, care a permis, la timpul său, apariţia noţiunii de energie, ar fi destul de instructivă, cu atît mai mult cu cît între energie şi informaţie există, fără îndoială, un fel de complementaritate, ca aceea dintre substanţă şi formă. În mod umoristic, s-ar putea regăsi această complementaritate la inginerii electricieni, care se împart în două categorii bine precizate, inginerii de „curenţi tari“, slujitorii energiei, şi inginerii de „curenţi slabi“, adepţii informaţiei. Într-un anumit fel, lumea modernă trăieşte din energie modelată prin informaţie. Dealtfel ele nu merg una fără cealaltă, şi nu există informaţie fără energie liberă, oricît de mică ar fi ea. Orice informaţie culeasă de radioastronomi, încă de la începutul acestei tehnici, nu reprezintă, ca energie, decît cîţiva ergi care s-au deplasat de la galaxii pînă la receptoarele noastre.

Studiile de structură au atins, odată cu îmbunătăţirile tehnice, nivele din ce în ce mai profunde; după structurile cristalelor, ale moleculelor, ale atomilor, şi aplicarea la aceste structuri a legilor matematice corespunzătoare, după marile succese ale mecanicii ondulatorii şi ale teoriei cuantice a cîmpurilor, iată că şi corpusculele fundamentale sînt ele însele supuse analizei structurale. Nucleele prezintă nivele, particule de diverse tipuri au în ele existenţe tranzitorii, protonul însuşi nu mai este un obiect simplu şi ascunde probabil amănunte interne. Dar aici apare un nou aspect al ştiinţei secolului al XX-lea, care ar putea fi caracterizat ca o analiză a noţiunii de existenţă obiectivă.

Mecanica ondulatorie ne propune, ca rezultat de calcul, nu situaţiile respective ale particulelor şi mişcările lor, cum este cazul în mecanica cerească, ci probabilităţile de prezenţă ale acestor particule în diferite locuri. Mai precis, principiul de incertitudine vine să definească relaţia între preciziile ce pot fi atinse în determinarea poziţiei unei particule şi în determinarea mişcării sale. O precizie progresivă în ambele măsurători, simultan, nu este posibilă, şi rămîne un fel de celulă de valoare universală, legată de constanta lui Planck, în interiorul căreia nici o măsurătoare nu permite să se pătrundă. Ce realitate obiectivă ar reprezenta atunci noţiunea atît de instinctivă de poziţie şi cea, mai puţin directă, de viteză? Fără îndoială aici este vorba de dimensiuni foarte mici şi, în ceea ce priveşte lumea la scara noastră, lucrurile rămîn neschimbate; totuşi acest „probabilism“ şi aceste incertitudini ar putea prea bine să atingă nivelele deja active în procesul vieţii.

La nivele încă mai depărtate, în interiorul nucleelor şi al particulelor efemere, cu proprietăţi mai mult sau mai puţin stranii, pe care fizica marilor energii permite să le atingem, se pare că ştiinţa se găseşte destul de aproape de noi mutaţii, cum ne fac să bănuim dificultăţile care apar în probleme de simetrie zise de paritate. Şi aici determinismul, al cărui element fundamental este constituit de principiul lui Curie — sau principiul de simetrie — nu se menţine decît cu dificultate sau chiar numai parţial. Realitatea obiectivă fundamentală este ea de natura probabilităţilor, sau există încă o realitate structurată, precisă, subiacentă? Fără îndoială, fizica secolului al XXI-lea va fi aceea care va rezolva această problemă.

PARTEA ÎNTÎI
MATEMATICA

Viaţa modernă este impregnată de matematică. Toate acţiunile şi toate construcţiile umane îi poartă urme şi nu există domeniu care să nu-i suporte influenţa, mergînd pînă la bucuriile noastre estetice şi la viaţa noastră morală.

Numărul lucrătorilor ocupaţi cu descoperirea matematicii, cu îmbogăţirea şi răspîndirea ei nu încetează să crească. A trecut timpul cînd un Claude Bernard putea să scrie: „În ştiinţă există uriaşi şi pitici, dar se întîmplă că piticii se urcă pe umerii uriaşilor şi văd mai departe decît ei". Între unii şi ceilalţi se găsesc acum toţi acei care, fără a deschide drumuri noi, aduc ştiinţei matematice capacitatea de a adînci problemele în profunzime sau să le lărgească în suprafaţă. Producţia anuală a devenit enormă; teoriile se înmulţesc divizîndu-se sau dezvoltîndu-se. Noţiunile intuitive de număr, de funcţie, de figură se înfăşoară din ce în ce mai mult în abstracţie. Pe lîngă aceasta, pe măsură ce sfera cunoştinţelor noastre creşte, numărul punctelor sale de contact cu necunoscutul creşte şi fiecare problemă rezolvată generează probleme noi.

Congresele internaţionale cedează puţin cîte puţin locul şi rolul lor colocviilor specializate şi reuniunilor omofone. Epoca unor Leonardo da Vinci şi Henri Poincaré pare depăşită. Nimeni nu poate spera să ajungă, cu o vedere generală a ştiinţei de care se ocupă, la mai mult decît o cunoaştere aprofundată a unora din domeniile ei. Tocmai de aceea ni s-a părut necesar de a încredinţa redactarea istoriei matematicii în secolul al XX-lea unui grup de specialişti, însărcinaţi să indice marile curente ale cercetării, raporturile sau divergenţele lor şi legăturile cu cercetările învecinate.

Ne vom putea da seama, după parcurgerea acestor expuneri, de dezvoltarea modernă a matematicii. Secolul al XIX-lea ne-a condus la precizarea noţiunilor de bază, a definiţiilor, a axiomelor, la separarea, într-o demonstraţie, a ipotezelor fundamentale indispensabile pentru exactitatea propoziţiilor, de ipotezele ajutătoare introduse pentru comoditatea demonstraţiei. Deja numărul şi punctul fuseseră aşezate la baza edificiului matematic iar diversele lor grupări au format obiectul unor profunde analize. Dar rolul din ce în ce mai larg al axiomaticii a condus la o investigaţie amănunţită a teoriilor pe care se bazează diferitele discipline. Scoţînd în relief axiomele fundamentale ale fiecăreia dintre aceste teorii, dezgolind scheletul lor, s-a ajuns la recunoaşterea faptului că unele dintre ele, în aparenţă depărtate, nu erau decît învelişuri diferite ale uneia şi aceleiaşi osaturi, conducînd la concluzii asemănătoare cînd sînt aplicate la diverse elemente. Aceste cercetări au ajuns la un studiu al structurilor care a condus la o mai mare abstractizare şi unitate în matematică şi, în cele din urmă, la o economie de gîndire.

Topologia joacă acum un rol fundamental în algebră. Teoria funcţiilor de variabile reale cunoaşte o dezvoltare magnifică unde noile extensiuni ale noţiunii de integrală, care îşi au originea într-o remarcă asupra aplicabilităţii suprafeţelor, sînt preţioase. Noţiunea de monogeneitate a funcţiilor de variabile complexe a fost net separată de cea de analiticitate şi descompusă în elementele sale; funcţiile au fost grupate în familii strîns înrudite, cele de mai multe variabile au fost intens studiate. Seriile divergente au fost reactualizate. Studiul ecuaţiilor diferenţiale străduie să obţină, pornind de la celula iniţială, cunoaşterea întregii fiinţe căreia îi dă naştere. Noţiunea de funcţie redusă la cea de corespondenţă, a permis înlocuirea variabilei numerice cu linia, suprafaţa, elementul abstract, studierea funcţionalelor şi această analiză generală, consecinţă ea însăşi a axiomaticii. Noţiunea de grup domină algebrele şi geometriile, variind cu alegerea axiomelor şi a elementelor de bază. Ea a condus la algebrizarea topologiei, la extensiuni ale omologiei, ale coomologiei, la crearea algebrei omologice. În geometrie, după geometriile neeuclidiene, arhimediene, hermitice etc., au apărut teoria relativităţii, varietăţile fibrate, geometria finită, analiza infinitezimală directă, geometria diferenţială globală. Teoria probabilităţilor s-a îmbogăţit cu analize mai aprofundate; noţiunea de corelaţie sau legătură de probabilitate a devenit importantă ca şi testele statistice. Logica probabilului, evoluţia aleatoare, cibernetica au condus la metode analitice noi.

În timp ce abstractizarea domneşte suverană în dezvoltarea matematicii moderne şi veghează la fundamentarea ei, aplicarea ei la concret nu scoate în relief un dezacord profund. Poate nu trebuie văzut în acest fapt decît o consecinţă a originei experimentale a matematicii şi a formării lente a spiritului uman în contact cu realul.

CAPITOLUL I
Numere şi mulţimi

A. TEORIA NUMERELOR

Teoria numerelor studiază numerele întregi, sistemele lor de numeraţie, numerele prime; apoi, numerele fracţionare, numerele iraţionale, algebrice sau transcendente şi legăturile care le unesc cu numerele raţionale; în sfîrşit, diferitele corpuri şi ideale.

Sistemul de numeraţie cu baza 2, care nu foloseşte decît cifrele 0 şi 1, este fundamental în construirea calculatoarelor electronice, al căror rol creşte permanent. Avantajul acestei baze este că ea nu introduce decît o alternativă între două cifre, în timp ce sistemul de numeraţie obişnuit, cu baza 10, necesită o alegere între zece semne. Calculatorul electronic efectuează automat conversiunea unei baze într-alta şi, în sistemul binar, un impuls este suficient pentru a conduce la cifra utilă.

Teoria numerelor se bazează pe teoria funcţiilor. La sfîrşitul secolului trecut, ea a găsit în geometrie un nou instrument de lucru pe care H. Minkowski l-a introdus în lucrarea sa *Théorie des nombres* (1896). Autorul foloseşte reţeaua formată de punctele din plan ale căror coordonate carteziene sînt numere întregi. Repartiţia acestor puncte joacă un rol important, în particular în studiul aproximării numerelor iraţionale prin numere raţionale.

Fracţiile continue furnizează, prin mijlocirea reduselor lor, fracţiile care aproximează cel mai bine un număr iraţional. Maximul modulului diferenţei descreşte ca pătratul inversului numitorului fracţiei înmulţit cu un factor constant a cărui cea mai bună valoare variază de la $\sqrt{5}$ pînă la 3 în funcţie de categoria numărului iraţional. În acest domeniu trebuie semnalate lucrările lui Axel Thue, Siegel, Dyson. Recent, F.K. Roth s-a ocupat de aproximarea numerelor algebrice şi a arătat că această metodă este puţin rapidă. Numărul de aur $(1 + \sqrt{5})/2$ corespunde celei mai lente aproximaţii[1].

---

[1] Numărul de aur este cunoscut din antichitate. El se poate reprezenta în fracţie continuă infinită, folosindu-se exclusiv cifra 1. Acelaşi număr se obţine şi ca limită a şirului $\{a_{n+1}/a_n\}$, unde a_n este termenul general al şirului lui Fibonacci 1,1, 2,3,5,8, ..., unde $a_{n+1} = a_n + a_{n-1}$. Progresia geometrică infinită al cărei prim termen este 1 şi a cărei raţie este numărul de aur este tot un şir al lui Fibonacci, în sensul că fiecare termen de rang mai mare ca 2 este suma celor doi termeni imediat precedenţi. În deceniul al treilea şi al patrulea ale secolului nostru, savantul de origine română Matila Ghyka a publicat la Paris cîteva volume care realizează o sinteză a intervenţiilor numărului de aur în diferite procese de creştere din lumea biologică şi din universul artelor vizuale. Aceste cercetări se înserează într-o direcţie

Se poate spune, de asemenea, că aproximarea unui număr irațional printr-o fracție se reduce la a căuta multiplul întreg al numărului irațional care este apropiat de un număr întreg, problemă utilă în teoria funcțiilor periodice și a seriilor trigonometrice. Geometria numerelor s-a dovedit fecundă în acest domeniu, care poate fi extins, după cum au arătat-o lucrările lui R. Salem și Ch. Pisot.

NUMERE PRIME. Șirul numerelor prime fiind nelimitat, s-a încercat studiul frecvenței. Fie $\pi(x)$ numărul numerelor prime care nu depășesc pe x. Teorema presupusă de Legendre conform căreia acest număr este asimptotic echivalent cu $x / \log x$, adică raportul $\pi(x) / (x / \log x)$ tinde către unu cînd x crește indefinit, a fost demonstrată în 1896, independent de către J. Hadamard și Ch. de La Vallé-Poussin. În 1932, E. Landau a dat o nouă demonstrație, mai scurtă, căreia A. Errera i-a adus în 1955 o simplificare suplimentară. Pe de altă parte, A. Selberg și P. Erdös au dat în 1948 o demonstrație directă fără a mai folosi teoria funcțiilor. Această demonstrație directă fusese considerată mult timp imposibilă.

Se numesc numere prime gemene două numere prime care diferă cu două unități, cum sînt 3 și 5 sau 11 și 13. Există oare o infinitate de perechi de numere prime gemene? Problema este încă nerezolvată. Se știe numai că raportul numărului perechilor de numere gemene inferioare lui x, față de numărul total de numere prime inferioare lui x tinde spre zero cînd x crește indefinit. Brun a demonstrat în 1919 că seria ai cărei termeni sînt inversele numerelor prime gemene este convergentă. Probleme analoage se pun și pentru numerele prime triple p, $p+2$, $p+6$, ca 5, 7, 11, sau cele cvadruple p, $p+2$, $p+6$, $p+8$, ca 5, 7, 11, 13. La studiul lor se folosesc „ciururi“ analoage celui al lui Eratostene.

Șirurile numerelor întregi de forma $4n+1$, sau $4n+3$, sau $6n+5$ etc., conțin fiecare o infinitate de numere prime. Aceasta se demonstrează ușor prin procedeul demonstrației lui Euclid în cazul șirului n al numerelor întregi. Aceste propoziții sînt cazuri particulare ale teoremei generale a lui Dirichlet care afirmă că orice progresie aritmetică al cărei prim termen și rație sînt numere întregi prime între ele, conține o infinitate de numere prime. În 1950, H.N. Shapiro a dat o demonstrație elementară acestei teoreme. Pe de altă parte, Linnik a demonstrat că în oricare din progresiile aritmetice precedente, care au aceeași rație și un prim termen inferior ei, există un număr prim care nu depășește o putere a acestei rații, al cărei exponent este o constantă absolută.

Pornind de la cel mai mare număr prim cunoscut în 1951, anume $2^{127} - 1 = p$, J.C.P. Miller și D.J. Wheeler, cu ajutorul calculatoarelor electronice, au mai găsit încă alte 11 numere prime de forma $2kp + 1$ și au ajuns la numărul prim $180\, p^2 + 1$ care are 79 de cifre. De atunci, s-a putut stabili că numărul $2^{4423} - 1$ este prim; acesta este recordul actual.

interdisciplinară deosebit de semnificativă, inițiată de către D'Arcy Wentworth Thompson în deceniul al doilea al secolului nostru, continuînd cu Ghyka, apoi, în deceniul al șaselea, cu studiile lui Hermann Weyl asupra simetriei în natură și în artă și, în ultimii ani, cu cercetarea lui René Huyghe asupra formelor și forțelor în artele vizuale și cu monografia de pe acum clasică a lui René Thom, dedicată studiului general al formelor biologice, cu ajutorul topologiei diferențiale. Această evoluție este tipică pentru caracterul interdisciplinar al științei contemporane. — *S.M.*

Progresia aritmetică este o funcţie liniară de variabila întreagă n. S-au studiat de asemenea şi alte funcţii de n care pot furniza o infinitate de numere prime. Astfel s-au introdus numerele prime de forma lui Mersenne, 2^n-1, sau de forma lui Fermat, $2^{2^n}+1$, sau cele deduse dintr-un trinom de gradul al doilea sau dintr-o formă cvadratică de două variabile întregi. În acest ultim caz se obţine o propoziţie asemănătoare teoremei lui Dirichlet: o formă cvadratică cu coeficienţi întregi primi între ei conţine o infinitate de numere prime. Aceste probleme au condus la lucrările lui D.H. Lehmer (1935), A. Ferrier (1951), W. Sierpiński (1951), M. Wright (1951).

S-au obţinut valori asimptotice pentru seriile sau produsele infinite legate de numerele prime ca, de exemplu, seria inverselor lor, cea a cîturilor logaritmului prin număr etc. Aceste lucrări sînt datorate în special lui B. Rosser (1941), Hardy şi E.H. Wright (1945). S-au căutat expresii ale lui $\pi(x)$ mai uşor utilizabile în calcule; una dintre ele este datorată lui W. Sierpiński (1953); alte lucrări sînt datorate lui A. Brauer (1946).

Intervalul care separă două numere prime consecutive a făcut obiectul unor cercetări fructuoase. Există un număr prim între x şi $(9/8)x$ pentru $x \geqslant 48$ (R. Breusch, 1931); între x^3 şi $(x+1)^3$ pentru x suficient de mare (A.E. Ingham, 1932); nu se ştie dacă afirmaţia este adevărată şi pentru x^2 şi $(x+1)^2$. Intervalul considerat variază între 2 şi un număr oricît de mare şi oscilează continuu între aceste numere limita inferioară nefiind poate întotdeauna atinsă. Lungimea acestui interval nu este o funcţie monotonă (Erdös şi Turan; Prachaz, H. Ishikawa, 1934; G. Ricci, 1951).

S-a introdus noţiunea de număr aproape prim: acesta este un număr compus, pentru care suma exponenţilor numerelor prime care-l formează are o limită superioară mărginită. Dacă această limită este 1, numărul este prim. Se obţin astfel, folosind un ciur, teoremele următoare:

1 Există o infinitate de perechi formate dintr-un număr prim şi un număr aproape prim a căror diferenţă este 2;

2 Orice număr par suficient de mare este suma unui număr prim şi a unui număr aproape prim (Rengi).

În 1742, într-o scrisoare către Euler, Goldbach a enunţat propoziţia că orice număr par este suma a două numere prime. Această propoziţie este echivalentă cu următoarea: orice număr întreg mai mare decît 5 este suma a trei numere prime. Teorema presupusă de Goldbach n-a putut fi demonstrată.

În 1922, Hardy şi Littlewood, admiţînd o ipoteză nedemonstrată, au arătat că orice număr impar suficient de mare este suma a trei numere prime. În 1937, Vinogradov a demonstrat complet această propoziţie, fiind urmat de către Linnik şi Ciudakov. Alte cercetări în această direcţie sînt datorate lui Pipping, Estermann, Van der Corput.

S-a putut demonstra că orice număr întreg se obţine prin adunarea unor numere prime al căror număr e mărginit. Folosind teorema lui Vinogradov, s-a stabilit că limita poate fi luată egală cu 4 cînd numărul întreg este suficient de mare (Schnirelmann, 1930; Ricci, 1936; Richert, 1941; Shapiro şi Varga, 1951).

ECUAŢII DIOFANTICE. Pentru rezolvarea în numere întregi a unei ecuaţii cu două variabile, obţinută prin egalarea cu zero a unui polinom cu coeficienţi raţionali, A. Thue a arătat că, dacă polinomul este omogen şi are în plus un termen constant raţional, ecuaţia admite un număr finit de soluţii, afară de cazul în care acest polinom este o putere a unui trinom de gradul II care se poate reduce la un binom de gradul I.

Bazîndu-se pe cercetările lui A. Weil privitoare la aritmetica pe curbe algebrice, C.L. Siegel a rezolvat problema determinării cazurilor în care o ecuaţie algebrică cu două variabile admite o infinitate de soluţii întregi. Cazul în care ecuaţia are mai mult de două variabile a fost studiat de către Skolem şi Chabauty.

În 1910, Hilbert a rezolvat problema propusă de Waring în urmă cu 150 de ani: pentru orice număr întreg $k \geqslant 2$, există un număr $s(k)$ astfel încît orice număr întreg se poate exprima ca suma a cel mult $s(k)$ puteri de ordinul k ale unor numere întregi. Hardy şi Littlewood au îmbunătăţit considerabil rezultatul lui Hilbert cu ajutorul unei metode foarte originale a „teoriei analitice a numerelor“. Ea se bazează pe un studiu foarte aprofundat al singularităţilor unei anumite serii a lui Taylor pe cercul ei de convergenţă; este aceeaşi metodă care, perfecţionată în special de Vinogradov, a permis obţinerea, printre altele, a rezultatelor menţionate mai sus asupra problemei lui Goldbach, precum şi o evaluare aproximativă a numărului de partiţii ale unui număr întreg.

NUMERE ALGEBRICE SAU TRANSCENDENTE. Studiul numerelor întregi algebrice astfel încît unul dintre ele să fie un număr real mai mare decît 1, ale cărui asociate au module inferioare lui 1, întreprins de Ch. Pisot şi continuat de R. Salem, C. Siegel şi alţii, a condus la criterii de definiţie al unor numere algebrice care generalizează teorema lui Lagrange referitoare la numerele algebrice de gradul al doilea.

Ch. Pisot şi C. Chabauty au perfecţionat metoda de aproximare simultană a două numere reale.

În 1934, A.-O. Ghelfond a dat un procedeu comod de construcţie a numerelor transcendente, demonstrînd şi o importantă propoziţie, al cărei enunţ îşi are obîrşia la Euler şi care constituia cea de a şaptea problemă propusă de Hilbert în 1900: α fiind un număr algebric diferit de 0 şi de 1, iar β un număr algebric iraţional, numărul α^{β} este transcendent (de exemplu, $3^{\sqrt{2}}$).

Pisot a dat în 1938 un criteriu de definiţie al unor numere transcendente: seria trigonometrică al cărei termen general este $\sin^2(\pi\alpha x^n)$, α reprezentînd un număr transcendent, este divergentă pentru orice valoare reală a lui x mai mare decît 1.

B. MULŢIMI

Mişcarea creată la sfîrşitul secolului al XIX-lea de teoriile lui Cantor n-a încetat să se dezvolte în secolul al XX-lea în diferitele discipline matematice. Noţiunea antică de monadă, dărîmată prin introducerea numerelor iraţionale, a cedat locul continuului. La rîndul său, acest continuu şi-a luat locul printre mulţimile pe care noţiunea de putere a permis să le claseze.

Numărul cardinal, care îşi are originea în numărarea mulţimilor finite, a fost extins la mulţimi infinite şi a condus la numeraţia transfinită şi la inducţia transfinită.

Numărul ordinal, cu aceeaşi origine, a condus la noţiunile de mulţime ordonată şi de mulţime bine ordonată, precum şi la axioma lui Zermelo (1904) după care, în orice submulţime a unei mulţimi date, se poate fixa un element distinct.

Această axiomă şi utilizarea numerelor transfinite au condus la rezultate uneori stranii şi la paradoxuri care au separat matematicienii în două grupe, unul admiţînd axioma lui Zermelo, pe cînd celălalt o respinge din cauza incertitudinii pe care o comportă specificarea elementului distinct corespunzător fiecărei mulţimi. Axioma lui Zermelo a dat naştere la numeroase controverse. Atacată de Poincaré, refuzată de Borel, Lebesgue, Luzin etc., ea a fost acceptată de către Hilbert, Hadamard, Sierpiński şi alţii. La începutul secolului al XX-lea matematicienii erau împărţiţi în două grupe: idealiştii, care acceptau axioma lui Zermelo, şi empiriştii, care o respingeau. Se pot citi cu interes cele „cinci scrisori asupra teoriei mulţimilor“, schimbate între Baire, Borel, Hadamard şi Lebesgue („Bul. Soc. math. France“, vol. 33, 1905, pp. 261—273). Două discipline s-au dezvoltat independent, rezultînd o analiză profundă a bazelor logice ale definiţiilor şi raţionamentelor (É. Borel, *Lex paradoxes de l'infini*, Paris, 1946). Primele cercetări ale lui Zermelo au fost continuate, printre alţii, de Frankel, Bernays, von Neumann şi Kurt Gödel (*The consistency of the continuum hypothesis*, Princeton, 1940); ei au formulat, pentru teoria mulţimilor axiome care astăzi sînt în general adoptate. În afară de aceasta, tot astfel cum în secolul al XIX-lea s-a dovedit că geometria neeuclidiană nu este contradictorie *dacă* geometria euclidiană nu este contradictorie, Gödel a demonstrat că *dacă* teoria mulţimilor, bazată pe sistemul său de axiome (în care nu figurează axioma alegerii), nu este contradictorie, *atunci* teoria obţinută adăugînd la axiome şi axioma alegerii şi ipoteza continuului, nu este nici ea contradictorie. Aceasta nu demonstrează de la sine ipoteza continuului, şi s-ar putea chiar ca ea să fie *nedemonstrabilă*, adică adăugînd sistemului de axiome al lui Gödel negaţia ipotezei continuului, să se ajungă tot la o teorie necontradictorie[1] (cu condiţia ca teoria fără această axiomă să nu fie nici ea contradictorie).

---

[1] Numeroasele încercări, făcute de-a lungul multor ani, de a *demonstra* axioma lui Zermelo (numită şi *axioma alegerii*), deci de a o transforma într-o teoremă, au eşuat, conducînd în schimb la un număr mare de propoziţii echivalente cu axioma lui Zermelo. Aceste pro-

Cercetările moderne, orientate spre o abstractizare crescîndă, au îmbogățit teoria mulțimilor prin introducerea topologiei, a algebrei lui Boole, și a analizei generale a lui Moore[2].

MĂSURA MULȚIMILOR. Măsura mulțimilor de puncte în spațiile cu una sau mai multe dimensiuni a trecut prin trei etape succesive. Mai întîi, la sfîrșitul secolului al XIX-lea, C. Jordan a introdus un prim mod de măsură, independent de structura mulțimii de măsurat. În particular, rezultă că nici mulțimea punctelor de abscisă rațională ale segmentului (0,1), nici mulțimea punctelor de abscisă irațională ale acestui segment nu sînt măsurabile.

Această insuficiență pentru mulțimi atît de obișnuite a condus pe Émile Borel (1871—1956) la introducerea unei alte definiții a măsurii care poartă numele de măsură B. Ea are următoarele proprietăți:

> Măsura segmentului (0,1) este egală cu 1; măsura unui număr finit sau infinit de intervale fără puncte comune este suma lungimilor lor; de aici rezultă măsura unei mulțimi a cărei construcție se obține prin suprimarea unor intervale; măsura reuniunii unui număr finit sau numărabil de mulțimi măsurabile fără puncte comune este suma măsurilor lor (É. Borel, *Leçons sur la théorie des fonctions*, Paris, 1898).

Henri Lebesgue (1875—1941) a dat o definiție a măsurii, numită măsura L, care are aceleași proprietăți fundamentale, dar este independentă de modul

---

poziții au fost strînse într-o carte de către Sierpiński, care dealtfel este autorul multor contribuții în legătură cu această axiomă.

Axioma lui Zermelo revine la existența, pentru orice familie de mulțimi nevide, a unei funcții selective, adică a unei funcții care asociază fiecărei mulțimi din familie un element determinat al ei. Un exemplu simplu în care existența unei mulțimi selective nu poate fi obținută fără axioma alegerii este următorul. Să asociem fiecărei funcții reale *f*, de o variabilă reală, funcția opusă —*f*. Să considerăm familia *F* a tuturor perechilor (*f*, —*f*). Existența unei mulțimi care să conțină cîte un element și numai unul, din fiecare pereche din *F*, nu poate fi obținută fără axioma alegerii.

Rezultatul lui Gödel, menționat în textul cărții de față, a spulberat posibilitatea de a se demonstra falsitatea axiomei alegerii. Rămînea însă posibilitatea de a se demonstra falsitatea negației axiomei alegerii. În perioada elaborării cărții de față, această chestiune nu era încă tranșată. O situație similară o prezenta și ipoteza continuului; nu se știa încă dacă este posibil să se demonstreze falsitatea negației ipotezei continuului. Conjectura enunțată în text, în favoarea nedemonstrabilității ipotezei continuului, s-a confirmat ulterior, prin demonstrarea, în 1963, de către Paul Cohen, a faptului că negația ipotezei continuului nu este contradictorie. De aici, în virtutea unei teoreme a lui Sierpiński, care afirmă că ipoteza continuului implică axioma alegerii, rezultă că nici negația axiomei alegerii nu este contradictorie. Aceste rezultate, împreună cu cele ale lui Kurt Gödel, semnalate în text, conduc la concluzia că atît axioma alegerii cît și ipoteza continuului constituie propoziții independente, cu alte cuvinte nici ele, nici negațiile lor nu sînt contradictorii. Există deci o matematică cu axioma alegerii (respectiv cu ipoteza continuului) și o matematică fără axioma alegerii (respectiv fără ipoteza continuului). Dar în momentul de față avem o imagine foarte palidă despre granița care separă aceste matematici. În orice caz, din rezultatul lui Cohen s-au și obținut unele consecințe deosebit de interesante, adesea surprinzătoare, cum este următorul rezultat al lui Solomon Feferman: Afirmația că mulțimea numerelor reale este o reuniune numărabilă de mulțimi numărabile este o propoziție independentă. Menționăm de asemenea demonstrarea, în urmă cu cîțiva ani, a echivalenței dintre axioma alegerii și existența mulțimilor reale nemăsurabile Lebesgue. — *S.M.*

[2] În legătură cu această problemă, vezi studiul lui J. Dieudonné, pp. 31—45.

de construcţie al mulţimilor. Ea prezintă un mare interes teoretic şi logic. Din punct de vedere practic, măsurile B şi L au aceeaşi valabilitate.

Se trece uşor de la definiţiile măsurii mulţimilor de puncte pe segmentul (0,1) la măsura mulţimilor de puncte situate într-un spaţiu cu un număr oarecare de dimensiuni şi chiar la măsura mulţimilor de puncte ale unui spaţiu topologic sau ale unei mulţimi abstracte. Măsura L considerată mai sus are proprietatea de a fi invariantă la translaţii; dar, după cum a demonstrat Stieltjes (1894), se pot defini pe dreaptă şi alte „măsuri" care nu se bucură de această proprietate dar care sînt foarte folositoare în numeroase probleme şi permit, printre altele, să definească fiecare cîte o integrală printr-un procedeu care imită pe cel folosit de Lebesgue pentru a defini integrala pornind de la măsura L [3].

MULŢIMI DE MĂSURĂ L NULĂ. Acestea sînt în primul rînd mulţimile numărabile. Borel distinge printre ele mulţimile efectiv numărabile, cele cărora li se poate realiza o clasificare a elementelor lor care le face să corespundă univoc la mulţimea numerelor întregi naturale.

Urmează mulţimile de măsură nulă care au puterea continuului. Să ne limităm la mulţimile punctelor situate pe segmentul (0,1) şi de măsură nulă. Mulţimea acestor mulţimi are o putere superioară celei a continuului.

Dacă ne limităm la acele dintre aceste mulţimi numite mulţimi B, mulţimea lor are puterea continuului. O astfel de mulţime este definită ca fiind formată de punctele interioare unei infinităţi numărabile de intervale. Suma lungimilor lor formează o serie convergentă, iar rapiditatea convergenţei acestei serii permite clasificarea lor. S-a ajuns astfel la noţiunea de rarefiere introdusă şi studiată de É. Borel (1949).

Mulţimile de măsură nulă sînt legate de expresia „aproape peste tot", utilizată în teoria funcţiilor. Se spune că o proprietate este valabilă aproape peste tot cînd mulţimea punctelor, definite prin valorile variabilelor, pentru care proprietatea nu este valabilă, este de măsură nulă.

MULŢIMI ANALITICE. Teoria mulţimilor analitice (1916), care reprezintă punctul de plecare al lucrărilor moderne asupra teoriei mulţimilor, este datorată lui Nicolai Luziń (1883—1950) şi elevului său Mihai Suslin (1894—1918). Ea se leagă de lucrările lui H. Lebesgue asupra funcţiilor reprezentabile analitic (1905). O mulţime analitică cu o dimensiune este mulţimea valorilor pe care le ia o funcţie continuă de o variabilă ale cărei valori sînt cuprinse între 0 şi 1. O astfel de funcţie este reprezentabilă printr-o serie de polinoame. Aceste serii definesc toate mulţimile de funcţii analitice a căror mulţime are puterea continuului.

Luzin a introdus, de asemenea, metoda „ciurului" folosită de Lebesgue într-un caz particular. Fiind dată o mulţime plană E raportată la două axe Ox, Oy, mulţimea absciselor x ale paralelelor la Oy, pentru care secţiunea lui E formează o mulţime care nu este bine ordonată, reprezintă mulţimea cernută de ciurul E.

---

[3] Vezi studiul lui A. Denjoy, pp. 47—50.

Lucrările dedicate mulțimilor analitice sînt mai ales opera școlilor poloneză și rusă, și în mod deosebit a lui Sierpiński, Kuratowski, Nikodym, Mazurkiewici, Alexandrov, Lavrentiev, Urysohn, Kolmogorov, Hurewicz și mulți alții (v. N. Luzin, *Leçons sur les ensembles analytiques et leurs applications*, Paris, 1930).

Aceste cercetări se leagă de clasele de funcții ale lui René Baire și de cercetările lui Ch. de La Vallée-Poussin. Ele au condus la studiul mulțimilor proiective și al mulțimilor universale ale lui N. Luzin; mulțimile rare ale lui A. Denjoy se numără și ele printre acestea.

É. Borel scrie: „Domeniile și mulțimile sînt pentru funcții, ceea ce sînt țesuturile pentru ființele vii. Am fost conduși în mod natural să le studiem în sine, independent de funcțiile care le-au sugerat studiul".

O publicație importantă, „Fundamenta Mathematicae", înființată în Polonia de către W. Sierpiński, este consacrată acestor cercetări.

CAPITOLUL II

Algebra și topologia

Matematicianul modern trăiește într-un mediu științific într-o perpetuă transformare. O evoluție care a fost inițiată acum un secol și care n-a încetat să se accelereze în ultimii 50 de ani, supune disciplinele matematice la o fuziune a cărei amploare crește an de an și care a șters deja numeroase frontiere tradiționale; de aceea a devenit foarte dificilă caracterizarea printr-un singur nume a multitudinii de teorii ce interacționează și care constituie ceea ce s-ar putea numi „focul central" al matematicii contemporane: topologia algebrică, geometria diferențială, teoria funcțiilor analitice de mai multe variabile complexe, grupurile lui Lie și geometria algebrică se întrepătrund într-un mod foarte complicat, nu fără aporturi ale analizei funcționale, fără a mai vorbi de relațiile cu teoria numerelor algebrice; iar acest balet cu sute de figuranți este orchestrat de cele două discipline-cheie ale matematicii moderne: algebra și topologia.

Originea acestei evoluții trebuie căutată în schimbarea punctului de vedere care a avut loc în cursul celei de-a doua jumătăți a secolului al XIX-lea: concepției platonice a matematicii ca „idealizare a lumii sensibile" i s-a substituit o atitudine de independență completă față de „concret", revendicînd posibilitatea de a dezvolta noțiuni pur abstracte, guvernate de sisteme de axiome aproape arbitrare și fără o corespondență necesară cu realitatea experimentală. Imediat s-a observat că procedeele care păreau legate de anumite tipuri de obiecte provenite din intuiția noastră sensibilă (numere, figuri geometrice etc.) aveau un domeniu de aplicație „abstract" mult mai vast și depășeau fără dificultate barierele pe care utilizarea lor tradițională păreau să le impună aplicării lor. Fiecare dintre aceste salturi înainte este însoțit invariabil de o nouă ridicare în abstract și de introducerea unor noi concepții matematice, cu care tînăra generație jonglează fără dificultăți și pentru a căror urmărire cei vîrstnici „își pierd respirația"; și nu este una dintre cele mai mici ironii a acestei istorii faptul de a vedea pe susținătorul abstractizării și pe spintecătorul concepțiilor perimate, ajuns pe la 50 de ani, îngrozindu-se de îndrăzneala tinerilor săi confrați și declarînd cu hotărîre că ele nu vor conduce la nimic nou!

Este cu mult prea devreme pentru a încerca să degajăm o privire de ansamblu a acestei efervescențe puțin cam haotică; cel mai bine va fi să urmărim unele dintre tendințele ce se întrepătrund în ițele matematicii moderne și să punem accentul asupra unora din ideile ei conducătoare.

TENDINȚELE NOII ALGEBRE. Algebra modernă nu mai are comun decît numele cu ceea ce, timp de secole, a constituit prin excelență, algebra sau teoria ecuațiilor. Ea a provenit nu numai din această algebră clasică și din necesitățile teoriei numerelor ci și din diversele „calcule“ ale analizei și ale geometriei, ale căror baze, degajate de considerente aparținînd acestor discipline, reprezintă ceea ce numim azi *structuri algebrice*; studiul lor este specificul algebrei moderne. În principiu, se poate defini o astfel de structură printr-un sistem de axiome supus la foarte puține restricții; dar istoria ultimilor 30 de ani, care au fost martorii înfloririi unor nenumărate sisteme de acest gen, pare să indice că sînt destinate unor dezvoltări fecunde doar cele care apar ca să spunem așa „la comandă“, pentru a răspunde necesităților precise ale unei alte părți a matematicii; mai puțin decît oricare altă ramură a matematicii, algebra nu-și poate permite de a fi „gratuită“ sub pedeapsa sterilității.

A) Dacă trecem rapid în revistă aceste diverse „structuri“ ale algebrei, trebuie să rezervăm locul de onoare ideii de grup, fără îndoială cea mai universală din matematica actuală. Ieșită direct din teoria ecuațiilor (Lagrange, Gauss, Galois), noțiunea de *grup finit* (și îndeosebi cea de grup de permutări) a constituit obiectul principal al teoriei grupurilor în secolul al XIX-lea, mai ales la Jordan și Sylow; și doar treptat s-a observat rolul superior pe care-l joacă grupurile în toate teoriile matematice; și, după cum vom vedea, din contactul cu aceste noi aplicații s-au născut progresele cele mai recente ale teoriei generale a grupurilor și chiar ale teoriei grupurilor finite.

B) Noțiunile de *corp* și de *inel* sînt, de asemenea, venite din algebra clasică, din geometria algebrică și din teoria numerelor (Dedekind, Kronecker, Hilbert); dar alături de corpurile „concrete“ de numere sau de funcții în aceste domenii au apărut și alte corpuri cu proprietăți mult mai ciudate, cum sînt corpurile finite (și mai general corpurile „de caracteristică $p>0$“), și corpurile p-adice (v. p. 39), în timp ce cercetările asupra bazelor geometriei au condus la corpurile seriilor formale (Veronese). Toate aceste cazuri particulare au fost înglobate în sinteza lui Steinitz (1910), care a marcat începutul algebrei moderne. Cu E. Noether și W. Krull, teoria generală a inelelor comutative s-a dezvoltat ceva mai tîrziu, fiind orientată de la început (și din ce în ce mai mult) spre geometria algebrică, cu care ea tinde să se confunde.

C) Strîns legată de noțiunea de inel este cea de *modul* pe un inel, care are aceeași origine (și pentru care *idealele* reprezintă cazuri particulare); dar teoria lor a gravitat mult timp în jurul cazului particular al spațiilor vectoriale (altfel spus, modulele pe un corp), care provin în linie dreaptă din geometria elementară și conduc la analiza funcțională (v. p. 38). Doar recent, odată cu algebra omologică (v. p. 33), teoria modulelor pe inele mai generale a luat o dezvoltare comparabilă. Dar deja numai cu spațiile vectoriale, „algebra liniară“ și anexele sale (algebra tensorială, algebra exterioară) au ajuns să joace un rol din ce în ce mai mare în toată matematica modernă al cărei caracter „liniar“ este unul dintre cele mai remarcabile.

Teoria corpurilor şi teoria lui Galois în particular au beneficiat din plin de această „liniarizare". Un alt succes al lor în algebră l-a constituit teoria algebrelor necomutative care există de la cuaternionii lui Hamilton, dar care n-au fost studiate în mod general decît începînd de la sfîrşitul secolului al XIX-lea. Aplicînd în particular rezultatele acestui studiu algebrei unui grup finit pe un corp oarecare K, se ajunge (în cazul în care K este corpul numerelor complexe) la teoremele fundamentale ale reprezentărilor liniare şi „caracterele" acestor grupuri. Acestea din urmă au fost introduse în 1886 de către Weber pentru grupurile comutative, dar definiţia lor pentru grupurile finite oarecare n-a fost dată decît în 1896 de către Frobenius; în mîinile sale, şi mai tîrziu în cele ale lui I. Schur şi Burnside, această teorie a furnizat un nou şi puternic instrument pentru studiul grupurilor finite; recent, studiind reprezentările într-un corp de caracteristică $p>0$, R. Brauer şi elevii săi au putut prelungi aceste cercetări într-un mod remarcabil (pentru generalizarea acestor noţiuni la grupurile topologice, vezi p. 38).

Tot în algebra liniară (cu dualitatea din geometria proiectivă, la începutul secolului al XIX-lea) a luat naştere marea idee a *dualităţii* pe care o vom regăsi mai jos sub forme foarte diferite.

ALGEBRIZAREA TOPOLOGIEI. Nicăieri cuceririle algebrei, şi în special ale teoriei grupurilor, n-au fost mai spectaculoase decît în topologie. Nu ne vom referi aici la topologia numită „generală", dezvoltată în urma lucrărilor lui Fréchet şi Hausdorff, în perioada 1920—1940, şi al cărei rol a fost de a făuri un limbaj „geometric", cît mai comod şi suplu posibil, pentru exprimarea rezultatelor şi problemelor analizei funcţionale, ale geometriei diferenţiale, şi a părţii topologiei, care se numea „combinatorie" la începutul secolului. În aceasta din urmă, tehnica triangulaţiei şi a „complexelor", creată de Poincaré (1895) pentru a elabora teoria întrevăzută de Riemann, a condus la a asocia unui spaţiu X invarianţi topologici („numerele lui Betti", „numerele de torsiune", „numerele de intersecţie") care totdeauna erau întregi, iar algebra n-a intervenit decît prin noţiunea „matricilor de incidenţă" şi prin ideea de „grup fundamental" $\pi_1(X)$ al claselor de drumuri. Doar prin 1925, sub influenţa lui E. Noether, s-a observat că exista un avantaj în a considera „lanţurile" unui complex ca formînd un grup comutativ iar operaţia de „frontieră" ∂_n ca un omomorfism al grupului n-lanţurilor în grupul $(n-1)$-lanţurilor; grupul cît al nucleului lui ∂_n prin imaginea lui ∂_{n+1} furnizează atunci, prin invarianţii săi obişnuiţi, „numerele lui Betti" şi „numerele de torsiune", de unde provine şi numele său de „al n-lea grup de *omologie*"; în ceea ce priveşte „numerele de intersecţie", acestea puteau servi la definirea unei înmulţiri între clasele de omologie (pe o varietate X). În afară de aceasta, în loc de a combina simplexele în sume cu coeficienţi întregi, nimic nu împiedica de a lua coeficienţii într-un inel oarecare, de unde noţiunea de grupuri de omologie cu coeficienţi arbitrari; aceasta permitea exprimarea completă a teoremei „dualităţii" (Alexander-Pontreaghin) între omologia unui subspaţiu şi a complementarului său şi a condus, între 1930—1940, la definirea grupurilor de *coomologie*, care fac legătura între dualitatea precedentă şi dualitatea obişnuită a algebrei liniare (Lefschetz, Alexander).

În plus, se poate defini totdeauna o înmulţire a claselor de coomologie (fără restricţii asupra spaţiului X); mai mult, există în acest inel de coomologie alte operaţii algebrice (puterile lui Steenrod, operaţii coomologice secundare) care formează o structură algebrică extrem de complexă şi care este încă departe de a fi complet lămurită. În fine, pe de altă parte, Hurewicz a introdus prin 1933 grupurile superioare de omotopie $\pi_n(X)$, generalizare naturală a grupului fundamental, şi acolo, de asemenea, între grupuri există multiple relaţii de natură algebrico-topologică, încă foarte puţin înţelese.

Aici are loc unul dintre „şocurile de revenire" cele mai remarcabile din istoria matematicii. În 1942, H. Hopf descoperise o relaţie neaşteptată între grupul fundamental $\pi_1(X)$ şi *al doilea* grup de omologie $H_2(X)$. Doi ani mai tîrziu, aprofundînd această relaţie, Hopf însuşi, Eckmann şi Eilenberg-Mac Lane au descoperit independent că se putea dezvolta, pentru un grup *abstract*, operînd într-un grup comutativ, o teorie a „coomologiei", asemănătoare formal în toate punctele teoriei omologiei complexelor. Puţin mai tîrziu Hochschild a remarcat că aceeaşi idee se aplica şi la algebrele asociative, iar Eilenberg şi Chevalley au extins-o la algebrele lui Lie. Ne găseam de fapt în prezenţa începuturilor *algebrei omologice*, ultima născută dintre părţile algebrei, al cărei marş triumfal prin toate domeniile matematicii este, fără îndoială, în plină desfăşurare; sistematizată graţie contribuţiilor fundamentale ale lui H. Cartan şi Eilenberg, în prezent ea cuprinde, într-un mod coerent, o serie de procedee algebrice care permit abordarea problemelor în care intervin relaţii de dependenţă liniară între elementele unui modul, majoritatea lor fiind provenite din topologia algebrică: noţiunile de rezoluţie (Hopf), de şir exact de coomologie (Hurewicz, Lefschetz, Hopf, H. Cartan) şi — cea mai puternică dintre toate, fără îndoială — teoria şirurilor spectrale a lui Leray (v. p. 36). Aceste idei au permis introducerea într-un cadru general a unor numeroase rezultate izolate ale algebrei (de exemplu, celebra „teoremă a syzygiilor" a lui Hilbert din teoria invarianţilor) şi vom avea ocazia în cele ce urmează de a menţiona unele dintre problemele de algebră şi de aritmetică cărora le-au furnizat soluţia. Dar primele şi cele mai importante aplicaţii ale algebrei omologice au avut ca domeniu chiar topologia algebrică care îi dăduse naştere; printre numeroasele succese care i se datoresc, menţionăm teoremele de finitudine ale lui Serre asupra grupurilor de omotopie ale sferelor, şi rezultatele recente ale lui Adams care rezolvă vechile probleme privind existenţa cîmpurilor de vectori pe sfere şi determinarea sferelor ce admit o înmulţire continuă, astfel încît aplicaţiile $y \to xy$ şi $y \to yx$ să fie omotope identităţii pentru orice x.

Trebuie subliniat că cu cît se pătrunde mai profund în topologia algebrică modernă, cu atît mai mult ne depărtăm de intuiţia geometrică iniţială a fondatorilor săi; s-a putut spune că o lucrare modernă de topologie algebrică conţine 95% algebră şi 5% topologie! Chiar o noţiune ce părea atît de strîns legată de ideea de continuitate ca cea de „deformaţie" (sau „omotopie"), recent a putut fi formulată în termeni pur algebrici (Kan). Dar orice progres în această algebrizare atrage după sine aproape invariabil un progres în aprofundarea teoriei şi în perfecţionarea mijloacelor de atac de care dispunem.

În sfîrşit, se cuvine să mai arătăm că algebra omologică este în curs de a se depăşi pe sine însăşi; formarea sa, la Cartan-Eilenberg, se referea în special la relaţiile dintre module şi omomorfismele modulelor. Dar s-a observat că în realitate nu se folosea decît un mic număr dintre proprietăţile lor formale (de exemplu faptul că un omomorfism are o imagine şi un nucleu) şi că aceste proprietăţi se întîlnesc în împrejurări în care obiectele în joc nu mai sînt neapărat module; de unde noua concepţie care constă, după un proces imuabil, în a transforma aceste proprietăţi în axiome. Aceasta este teoria foarte recentă a *categoriilor abeliene* şi a *functorilor* pe aceste categorii: o nouă ridicare în abstract, care, ca de obicei, conduce la puncte de vedere mai simple şi la metode mai generale, nu numai în algebra omologică „clasică“ ci, — ceea ce este mai important — în teoria fasciculelor şi a aplicaţiilor sale (v. p. 36).

TOPOLOGIA ALGEBRICĂ, GEOMETRIA DIFERENŢIALĂ ŞI GEOMETRIA ALGEBRICĂ. Primele probleme de topologie algebrică pe care şi le-a pus Riemann au apărut în legătură cu perioadele integraleler abeliene, iar Poincaré, pentru studiul varietăţilor analitice, a dezvoltat metodele sale combinatorii, avînd în vedere mai ales aplicaţiile la integralele formelor diferenţiale; teoria acestora, în cazul varietăţilor algebrice de dimensiune 2 (Picard şi geometrii italieni) sau de dimensiune oarecare (Lefschetz), a condus dealtfel la apariţia unor numeroşi invarianţi (gen geometric, gen aritmetic etc.) legaţi în mod vizibil de probleme de natură topologică. Dar legăturile între teoria varietăţilor diferenţiabile şi topologia algebrică aveau să se concretizeze mai ales sub impulsul lucrărilor lui É. Cartan; în 1929, reluînd ideile lui Poincaré, el a enunţat într-un mod precis care trebuia să fie teoremele ce leagă, pe o varietate diferenţiabilă, formele diferenţiale închise şi numerele lui Betti, teoreme demonstrate aproape imediat după aceea de către de Rham, şi care aveau să formeze mai tîrziu unul dintre punctele de plecare ale noţiunii de coomologie. În 1940, teoremele lui de Rham au fost completate prin teoria lui Hodge, care generaliza, la formele diferenţiale pe un spaţiu Riemann compact, metodele lui Riemann fondate pe principiul lui Dirichlet (teoria formelor armonice), şi care aveau să deschidă calea teoriei moderne a varietăţilor analitice numite „kähleriene“.

Geometria diferenţială clasică este de asemenea la baza teoriei moderne a *spaţiilor fibrate:* considerarea varietăţii elementelor de contact ale unei suprafeţe revine, în limbaj modern, la a lua în consideraţie spaţiul fibrat avînd ca „bază“ suprafaţa iar ca „fibre“ planele tangente; şi „metoda triedrului mobil“ a lui Darboux constă în asocierea la acest spaţiu fibrat (în care operează în fiecare punct grupul ortogonal) a spaţiului fibrat principal corespunzător (care are aceeaşi bază, iar ca fibră în fiecare punct spaţiul triedrelor trirectangulare în acest punct). É. Cartan a generalizat mult aceste noţiuni în teoria sa a „conexiunilor“, unde grupul ortogonal putea fi înlocuit printr-un grup al lui Lie oarecare; dar definiţia precisă a noţiunii de spaţiu fibrat n-a fost degajată decît în 1935 de către H. Whitney. Puţin mai tîrziu, Whitney, Hurewicz, Ehresmann, Hopf şi şcoala sa au arătat că aceste spaţii joacă an rol considerabil nu numai în problemele geometriei diferenţiale examinate de É. Cartan, ci şi în studiul grupurilor lui Lie şi al spaţiilor lor omogene (v. p. 42), precum şi în toate problemele de topologie pe varietăţi diferenţiabile (ca de exemplu problemele iniţiate de Poincaré şi Brouwer, asupra existenţei cîmpurilor continue de vectori sau de multivectori tangenţi la o varietate dată); în afară de aceasta A. Weil a remarcat prin 1950, că noţiunea clasică de divizori pe o varietate analitică sau algebrică este şi ea strîns legată de un tip particular de spaţiu fibrat. Studiul acestei noi noţiuni, urmat intens în toate direcţiile începînd din 1940, avea să fie fertil în numeroase consecinţe; să cităm în primul rînd introducerea noilor invarianţi „globali“ de natură topologică legaţi de o structură diferenţiabilă pe o varietate (clasele lui Stiefel-Whitney, clasele lui Pontreaghin, clasele lui Chern pe o varietate analitică complexă), al căror calcul a permis rezolvarea a numeroase probleme clasice pe care invarianţii topologici anteriori erau neputincioşi să le lămurească. În afară de aceasta, problema clasificării spaţiilor fibrate, cu fibră şi bază date, a condus la relaţii remarcabile cu omotopia, prin introducerea „spaţiilor clasifiante“; totodată, ea a condus pe J. Leray la crearea metodei şirurilor spectrale şi la noţiunea fundamentală de *fascicul*, mai suplă şi mai puternică încă decît cea de spaţiu fibrat.

Aceste noi noţiuni şi metode au permis progrese impresionante în multiple direcţii: prin aplicarea metodei şirurilor spectrale la spaţii fibrate convenabile (de fapt mai generale decît spaţiile fibrate ale lui Whitney sau Ehresmann), Serre a obţinut rezultatele sale asupra grupurilor de omotopie a sferelor, şi de atunci rezultate mai complete au fost demonstrate prin diferite metode bazate de asemenea pe noţiunea de spaţiu fibrat (H. Cartan). Pe de altă parte, Serre şi H. Cartan au descoperit în 1952—1953 că teoria fasciculelor reprezenta instrumentul ideal pentru a da versiuni „globale“ teoremelor teoriei funcţiilor analitice de mai multe variabile complexe (dezvoltată după Poincaré şi Cousin în special de către Carathéodory, Behnke şi şcoala sa, H. Cartan şi Oka). Această idee, reluată printre alţii de către Kodaira şi Spencer (în legătură cu teoria formelor armonice), apoi de către Hirzebruch, Grauert şi Remmert, a condus rapid, în ultimii ani, la noi şi extrem de remarcabile rezultate asupra varietăţilor analitice complexe şi asupra varietăţilor algebrice. Nu vom cita decît două dintre cele mai interesante: teorema lui Kodaira care caracterizează varietăţile algebrice printre varietăţile analitice complexe compacte, printr-o condiţie de natură topologică (faptul de a fi o „varietate a lui Hodge“); şi formularea generală a teoremei lui Riemann-Roch pentru varietăţile algebrice complexe de dimensiune oarecare datorată lui Hirzebruch: ea exprimă într-o formulă algebrică surprinzătoare (în care intervin printre altele numerele lui Bernoulli): „caracteristica lui Euler-Poincaré“ a unui spaţiu fibrat care are ca bază o varietate algebrică (şi drept fibre, spaţii vectoriale) aşa cum este ea definită de teoria coomologiei fasciculelor, prin intermediul claselor lui Chern ale acestui spaţiu fibrat (clase care, în cazuri particulare, au fost întîlnite sub alte forme în 1937—1938 de către Eger şi Todd). Această formulă şi rezultatele conexe au permis demonstrarea celebrelor conjecturi ale lui Severi asupra genului aritmetic al varietăţilor algebrice.

Înainte de a termina această prea rapidă trecere în revistă a bogatului domeniu al interacţiunilor geometriei diferenţiale, teoriei funcţiilor analitice şi topologiei algebrice, să cităm una dintre teoriile cele mai recente şi mai originale, studiul algebrei *de cobordism*, definită şi caracterizată de către Thom: elementele ei sînt clasele de varietăţi diferenţiabile orientate, două varietăţi V, W fiind într-o aceeaşi clasă dacă există o varietate orientată a cărei frontieră este reuniunea disjunctă a lui V şi a lui W. Datorită unor profunde rezultate asupra omotopiei şi a unei ingenioase construcţii auxiliare permiţînd utilizarea acestor rezultate, Thom a putut stabili nu numai structura grupurilor de cobordism (cu coeficienţi raţionali), dar totodată le-a putut pune în legătură cu clasele lui Pontreaghin, şi prima demonstraţie a formulei lui Hirzebruch folosea aceste rezultate într-un mod esenţial. Mai mult, datorită noţiunii de cobordism, Milnor a demonstrat în 1958 rezultatul uimitor că o sferă S_n (pentru anumite valori ale lui n) poate admite mai multe structuri diferenţiabile neizomorfe; şi deja Milnor şi Thom au arătat că aceste clase de structuri se organizează într-un grup (!) al cărui studiu a fost făcut de către Smale. Pe de altă parte, Kervaire a obţinut un exemplu de varietate în sens topologic (spaţiu compact în care orice punct are o vecinătate deschisă homeomorfă cu $\mathbf{R}^n$) pe care nu există nici o structură diferenţiabilă.

În sfîrşit, să notăm o reînviere a topologiei „combinatorii“, datorită căreia, folosind studiile fundamentale ale lui J. H. Whitehead împreună cu unele idei noi, s-au putut rezolva aproape complet două probleme mai vechi: ipoteza lui Poincaré după care sfera S_n este caracterizată topologic printre varietăţile de dimensiune n, prin proprietatea de a avea grupul său fundamental şi toate grupurile de omologie *nule*, afară de al n-lea, a fost demonstrată pentru orice n în afară de $n = 3$ şi $n = 4$ (Stallings, Smale). Dimpotrivă, *Hauptvermutung*, care conjectura posibilitatea, pentru două subdiviziuni simpliciale ale unui aceluiaşi complex, de a obţine două subdiviziuni izomorfe mai fine (din punct de vedere combinatorial) a fost recunoscută ca inexactă (Mazur şi Milnor).

ALGEBRA TOPOLOGICĂ. Relaţiile între algebră şi topologie de care vom vorbi acum sînt de o cu totul altă natură decît cele precedente. Continuitatea operaţiilor algebrice este una dintre „legile“ analizei cele mai frecvent utilizate, atît de des încît nu ne mai gîndim la ele. În secolul al XIX-lea, odată cu dezvoltarea teoriei grupurilor, aceeaşi proprietate a fost regăsită la baza marei teorii a lui Lie (v. p. 42), dar nu s-a urmărit să se facă un studiu axiomatic al acestei legături între algebră şi noţiunea topologică de continuitate. Înflorirea analizei funcţionale moderne, şi în special introducerea, între 1900 şi 1910, a „spaţiului lui Hilbert“ şi a „spaţiilor L^p“, au fost cele care au dovedit interesul unor astfel de studii (a căror absenţă avea, de exemplu, să sterilizeze şcoala lui Volterra). Ele au condus, prin F. Riesz, Hahn şi Banach, printre alţii, la crearea, între 1920—1930 a teoriei spaţiilor vectoriale topologice, care studiază în principal aspectul topologic al problemelor *liniare* şi *multiliniare;* în particular, studiul noţiunii care generalizează, în spaţiile vectoriale topologice, pe cea de formă pătratică, a condus pe

Hilbert să pună bazele *teoriei spectrale a operatorilor hermitici*, care a ajuns să aibă o importanţă fundamentală în numeroase domenii ale analizei (ecuaţii diferenţiale, ecuaţii cu derivate parţiale, ecuaţii integrale) precum şi în mecanica cuantică. Trebuie subliniat că una dintre marile sale idei directoare a fost *dualitatea;* şi printr-o nouă întoarcere în urmă această dualitate topologică a contribuit la clarificarea ideilor asupra dualităţii algebrice clasice, stînjenită de prea multe fenomene speciale.

Pe de altă parte, studiile asupra grupurilor generale făcea să se simtă necesitatea de a ieşi din cadrul prea particular al teoriei grupurilor lui Lie, şi, în 1927, O. Schreier a formulat, într-un mod general axiomele grupurilor zise „topologice", unde operaţiile sînt obligate de a fi continue. În cei 20 de ani care au urmat, această ramură a teoriei consacrată grupurilor local compacte (cele mai apropiate de grupurile lui Lie şi cele mai adesea întîlnite în aplicaţii) avea să avanseze cu paşi uriaşi: în 1933, Haar a demonstrat existenţa unei măsuri invariante pe aceste grupuri (cunoscută cu mult înainte pentru grupurile lui Lie); această descoperire i-a permis aproape imediat lui Pontreaghin de a elabora, pentru grupurile comutative local compacte, o teorie a caracterelor, asemănătoare celei a lui Weber pentru grupurile finite, dar care a condus din nou la apariţia unei *dualităţi* remarcabile (puţin vizibilă în cazul clasic, dovedit, încă o dată, prea special). Puţin mai tîrziu, A. Weil introducea în acest cadru toată teoria clasică a seriilor lui Fourier şi a transformatelor lui Fourier, al căror aspect algebric era astfel pus în lumină în această nouă „analiză armonică".

Pentru grupurile compacte (comutative sau nu), măsura lui Haar a permis de asemenea extinderea (făcută deja de I. Schur şi H. Weyl pentru grupurile lui Lie, prin 1925) a teoriei caracterelor şi a reprezentărilor liniare ale grupurilor finite oarecare; iar von Neumann şi Pontreaghin, printre altele, au dedus soluţia, pentru grupurile compacte, a celebrei „a 5-a problemă a lui Hilbert" caracterizînd grupurile lui Lie prin proprietăţi topologice în care structura diferenţiabilă nu este presupusă a exista apriori.

Pentru grupurile local compacte generale, soluţia celei de a 5-a probleme şi dezvoltarea teoriei reprezentărilor liniare aveau să se facă aşteptate ceva mai mult timp. Abia în 1951, Gleason, printr-o iscusită folosire a teoriei spaţiului lui Hilbert, a reuşit să facă pasul decisiv spre rezolvarea celei de a 5-a probleme, obţinută apoi imediat de Montgomery şi Zippin şi mult simplificată de Yamabe un an mai tîrziu. În ceea ce priveşte teoria reprezentărilor liniare, ea n-a putut face progrese apreciabile decît cînd a fost definit analogul topologic al „algebrelor grupale" şi s-a realizat o familiarizare cu manipularea lor; cu alte cuvinte, trebuia să se generalizeze la cazul „topologic" nu numai noţiunea de grup, ci şi cea de inel. În această direcţie s-a efectuat mai întîi studiul aprofundat al unui tip particular foarte important, inelele de operatori într-un spaţiu Hilbert, dezvoltat de către von Neumann (în colaborare cu Murray) într-o serie de lucrări fundamentale între 1935—1940. Apoi, în 1941, I. Ghelfand şi şcoala sa au dezvoltat teoria generală a algebrelor normate, una dintre cele mai frumoase aplicaţii ale teoriei spaţiilor lui Banach, care a permis imediat simplificarea şi unificarea demonstraţiilor analizei armonice, dualitatea lui Pontreaghin devenind astfel subordonată dualităţii spaţiilor lui Banach. Pe de altă parte, această nouă formulare a deschis calea teoriei reprezentărilor liniare ale grupurilor local compacte generale, care a fost dezvoltată pe modelul cazului comutativ; dar în ciuda unor apreciabile progrese realizate în ultimii ani, mai ales pentru reprezentările liniare ale grupurilor lui Lie (Mautner, Mackey, Segal, Godement, Ghelfand şi Neumark, Harish-Chandra, Bruhat, Dixmier), multe probleme au rămas încă deschise, teoria fiind mult mai complexă decît în cazul comutativ, şi necesitînd mijloace mult mai puternice (algebrele lui von Neumann, teoria distribuţiilor) precum şi considerente de teoria funcţiilor de variabile complexe şi de geometrie algebrică.

LIMBAJUL TOPOLOGIC ÎN ALGEBRĂ. În exemplele menţionate mai sus, structura topologică făcea parte integrantă din datele problemelor studiate. Dar, de la începutul secolului, s-au dezvoltat şi alte teorii unde topologia nu mai este decît un *limbaj* permiţînd exprimarea sub forme comode a anumitor situaţii algebrice.

Cu alte cuvinte, în aceste aplicaţii, este perfect posibil să se exprime totul fără a folosi un singur termen topologic; însă, în practică, limbajul geometric aduce nu numai o simplificare considerabilă a enunţurilor şi chiar a demonstraţiilor, dar este însoţit, la matematicienii care-l folosesc în mod curent, de un fel de intuiţie care se dovedeşte o călăuză foarte eficace.

Primul exemplu şi model al acestei utilizări a limbajului topologic îl constituie celebra teorie a „numerelor p-adice“, creată de Hensel pe la 1900. Ea dă o formă nouă teoriei „congruenţelor superioare“ ale lui Dedekind (sisteme de congruenţe după puterile din ce în ce mai mari ale unui număr (sau ideal) prim): ideea lui Hensel consta în introducerea pe mulţimea numerelor raţionale (sau, mai general, pe un corp de numere algebrice) a unei *distanţe* de un tip nou, pentru care puterile numărului (sau idealului) prim considerat să tindă spre zero cînd exponentul creşte indefinit; iar numerele p-adice erau definite pe baza acestei distanţe prin acelaşi procedeu de „completare“ care furnizează numerele reale pornind de la numerele raţionale pentru distanţa obişnuită. Această idee, revoluţionară pentru epoca ei, n-a fost dezvoltată şi generalizată decît după 1918, întîi de către Ostrowski, apoi de către Hasse, elevul lui Hensel, care i-a popularizat întrebuinţarea şi datorită căruia s-a răspîndit concepţia după care în aritmetică numerele prime joacă exact rolul de puncte ale unei varietăţi algebrice, şi „dezvoltările p-adice“ acela al dezvoltărilor „Puiseux“ în vecinătatea unui punct. De aici a rezultat dublul principiu care constă, în orice problemă legată de teoria numerelor, să o considerăm mai întîi „locală“ în fiecare „loc“ (alt nume dat idealelor prime, cărora trebuie să le adăugăm „locurile la infinit“ corespunzătoare completării pentru distanţa obişnuită, adică scufundării clasice a numerelor raţionale în cele reale, şi pentru corpurile numerelor algebrice corespunzînd diverselor scufundări posibile ale unui astfel de corp în corpul numerelor complexe); apoi, o dată problema „locală“ rezolvată, trebuie să ne ridicăm „de la local la global“.

Aceste principii aveau să găsească, în anii 1920-1935, un vast cîmp de aplicaţii în teoria corpului claselor şi a consecinţelor sale pentru teoria algebrelor pe corpuri de numere şi pentru teoria aritmetică a formelor pătratice (rezultate moderne ale admirabilelor lucrări de teoria numerelor din secolul al XIX-lea, datorite în special şcolii lui Gauss). Puţin mai tîrziu, „trecerea de la local la global“ a luat un aspect geometric nou prin introducerea de către Chevalley a noţiunii de *idel* care constă în scufundarea corpului numerelor studiate în produsul (topologic) al completatelor sale în diverse „locuri“, ceea ce permite formularea teoremelor fundamentale ale teoriei numerelor algebrice într-un mic număr de enunţuri frapante, împrumutate din vocabularul teoriei grupurilor local compacte. În ultimul timp s-a remarcat că utilizarea măsurii lui Haar pe aceste grupuri reducea la enunţuri extrem de simple marile teoreme ale lui Minkowski-Siegel asupra formelor pătratice (Tamagawa). Menţionăm de asemenea pătrunderea neaşteptată a algebrei omologice în teoria corpului claselor, prin lucrările lui A. Weil, Nakayama-Hochschild şi, în special, Tate, care, printr-o modificare ingenioasă a teoriei coomologice a grupurilor finite, a pus într-o nouă lumină metodele anterioare şi a deschis calea spre noi progrese.

Dacă geometria algebrică clasică a inspirat prin Hensel un nou limbaj aritmeticii , aceasta a adus la rîndul ei geometriei algebrice un ajutor eficace pentru a ieşi din cadrul ei tradiţional. Problemele diofantice incitau la luarea în considerare a punctelor de coordonate raţionale pe varietăţi definite prin ecuaţii cu coeficienţi raţionali, adică a se face abstracţie pe aceste varietăţi de tot ceea ce ieşea din corpul numerelor raţionale, şi deci a se elibera de principiul care făcea din geometria algebrică o ramură a analizei, dependentă strîns de teoria funcţiilor de variabile complexe. Şi ceea ce este mai important, cînd în problemele diofantice era necesară „localizarea“ (în sensul aritmetic precedent), eram conduşi la considerarea ecuaţiilor şi a soluţiilor lor „modulo p“ (p prim), deci, de fapt, trebuia să trecem într-un corp finit. După sistematizarea lui Steinitz a devenit clar că aceasta revenea la lărgirea domeniului geometriei algebrice luînd nu corpul numerelor complexe al geometriei algebrice clasice drept „corp de bază“, ci un corp (comutativ) absolut oarecare. Dar aceasta părea să implice automat renunţarea la orice utilizare a metodelor „transcendente“ care au folosit atît de mult lui Picard, Lefschetz şi geometrilor italieni; şi chiar părea dificil în această nouă geometrie „abstractă“ să se păstreze contactul cu intuiţia geometrică. De fapt, primele încercări în această direcţie ale lui E. Noether şi van der Waerden înlocuiau raţionamentele de algebră pură pe inele, ideale şi module, care erau de o rigurozitate impecabilă, dar care păreau să meargă mult mai puţin departe decît procedeele clasice şi păreau a sorti noua geometrie algebrică unei dezvoltări anevoioase şi lente. În domeniul local, metoda lui Hensel-Ostrowski a permis ieşirea rapidă din această situaţie, datorită în special lucrărilor fundamentale ale lui Krull asupra noţiunii generale de „valuare“ şi mai general de „inel local“: dezvoltările în serie formală înlocuiau fără dificultăţi seriile convergente din analiza clasică. Dar, rămînea de regăsit şi intuiţia geometrică „globală“, dînd un mijloc de a lega între ele „locurile“ disociate de algebra locală. În deceniul 1945—1955, o primă metodă, datorită lui A. Weil, bazată pe introducerea unor „puncte generice“ (definite pur algebric) şi a „specializărilor" lor, au permis nu numai construirea a ceea ce lipsea încercărilor precedente (şi, la drept vorbind, chiar ale geometriei algebrice clasice) anume a unei teorii riguroase şi maleabile a multiplicităţilor de intersecţie, datorită căreia se puteau trata pe o varietate algebrică abstractă „ciclurile" algebrice într-un mod bazat pe calculul „lanţurilor" din topologia algebrică; mai mult, ea avea să conducă la succese răsunătoare ale autorului şi discipolilor săi în geometria „abstractă". Cel mai remarcabil succes l-a constituit demonstrarea, pentru curbele algebrice definite pe un corp finit, a analogului „ipotezei lui Riemann" clasice; după cum a arătat A. Weil în 1948, această teoremă are, printre altele, consecinţe importante în teoria analitică a numerelor, furnizînd cea mai bună majorare posibilă pentru sumele de exponenţiale $\sum_{x=1}^{p-1} \exp(2\pi i f(x)/p)$, unde p este număr prim, iar f polinom cu coeficienţi întregi), pentru care nu se puteau obţine pînă atunci decît evaluări mult mai grosolane.

Totuşi, metodele lui Weil nu restabileau decît parţial clasica mînuire geometrică a punctelor şi a subvarietăţilor; se pare că orientarea actuală se îndreaptă spre o altă metodă care îşi găseşte originea în lucrările lui Zariski, şi constă în folosirea, pe o varietate algebrică „abstractă", a unei topologii mult mai „grosolane" decît cea de care dispunem în teoria clasică: de exemplu, pe o curbă algebrică se consideră ca mulţimi închise, mulţimile finite, iar topologia nu verifică deci axioma lui Hausdorff dacă corpul de bază este infinit. Dar această topologie are avantajul de a putea fi definită pur algebric, şi se observă, chiar în cazul clasic, că ea aduce practic aceleaşi servicii ca şi topologia obişnuită în geometria algebrică. Aceste idei au cîştigat importanţă mai ales după ce Serre a observat în 1955 că noţiunea de fascicul, atît de folositoare în teoria varietăţilor analitice complexe, se aplică la fel de bine şi geometriei algebrice „abstracte", înzestrînd varietatea cu „topologia lui Zariski"; această metodă şi-a dovedit în cîţiva ani remarcabila sa fecunditate în mîinile autorului ei şi a lui Grothendieck, care a extins (şi chiar a generalizat considerabil) formula lui Riemann-Roch-Hirzebruch la cazul „abstract" (v. p. 36). În aceste extensiuni algebra omologică joacă natural un rol la fel de important ca în teoria modernă a varietăţilor analitice complexe şi de fapt metodele şi concepţiile acestor două teorii acţionează fără încetare una asupra celeilalte. După cum a remarcat Serre, algebra omologică poate de asemenea să joace un rol foarte util în algebra locală; aceasta din urmă (dezvoltată în special după Krull, de către Chevalley, Zariski, I. Cohen, Samuel şi Nagata) reprezintă, bineînţeles, unul dintre instrumentele fundamentale ale geometriei algebrice privită din punctul de vedere pe care l-am indicat.

Semnalăm, în sfîrşit, că sub numele de „limită proiectivă", procedeul imaginat de către Hensel joacă un rol important în multe alte discipline, mai ales în topologia algebrică (pentru definirea „coomologiei lui Čech") şi în teoria grupurilor local compacte generale. De altminteri acest proces comportă un proces „dual", acela al „limitei inductive", care nu necesită deloc intervenţia topologiei, dar este curent utilizat în toată algebra şi este fundamental în teoria fasciculelor.

O RĂSPÎNTIE: GRUPURILE LUI LIE. Am avut de mai multe ori ocazia să menţionăm teoria lui Lie. De fapt, această teorie a devenit în epoca noastră una dintre cele mai remarcabile „plăci turnante" ale matematicii, pe care se amestecă şi reacţionează influenţele cele mai diverse.

Se ştie că Lie a creat teoria „grupurilor continue" pentru a răspunde la probleme variate asupra bazelor geometriei şi integrării ecuaţiilor diferenţiale şi cu derivate parţiale. În acea epocă distincţia dintre „local" şi „global" era departe de a fi atît de clară ca astăzi, şi cu toate că cea mai mare parte a grupurilor particulare considerate de către Lie şi şcoala sa erau definite global, el efectua studiul general al „grupurilor continue" din punct de vedere pur local. Descoperirea esenţială a lui Lie a fost aceea că structura locală a unui astfel de grup se reflectă fidel în structura sa „infinitezimală": cunoaşterea pînă la al doilea ordin infinitezimal a funcţiilor ce dau legea grupului este suficientă pentru a le reconstitui în întregime (bineînţeles sub forma unor serii întregi care nu sînt neapărat convergente peste tot). Această structură „infinitezimală" se exprimă sub forma pur algebrică a teoriei „algebrelor lui Lie", şi primul scop al lui Lie şi al elevilor săi a fost edificarea acestei teorii. Prin lucrările fundamentale ale lui Killing şi É. Cartan acest prim obiectiv a fost atins în principiu încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, în special prin descoperirea şi clasificarea completă a algebrelor lui Lie „semisimple" pe corpul numerelor complexe (pentru algebrele lui Lie semisimple reale, acelaşi rezultat a fost obţinut de É. Cartan în 1914).

Grupurile considerate iniţial de Lie erau date ca grupuri de transformări pe spaţii sau pe porţiuni de spaţii variate; unul dintre marile sale merite a fost de a extrage din acest aspect teoria intrinsecă unde grupul era studiat independent de „realizările" sale posibile ca grup de transformări; dar acestea din urmă şi în special reprezentările *liniare* păstrau un interes considerabil, mai ales în aplicaţii. Din punct de vedere „infinitezimal", É. Cartan a dezvoltat acest aspect al teoriei şi a găsit o soluţie completă pentru reprezentările liniare (de dimensiune finită) ale algebrelor semisimple[1]. În 1925 aspectul teoriei s-a schimbat dintr-o dată prin introducerea de către H. Weyl a unor probleme ce aveau drept obiect grupurile lui Lie *globale* şi în special grupurile lui Lie *compacte*; H. Weyl a arătat cum, în aceste probleme, integrarea în raport cu măsura invariantă pe grup (folosită de Hurwitz încă din 1897) furniza mult mai rapid rezultatele lui É. Cartan asupra structurii şi a reprezentărilor liniare ale algebrelor lui Lie simple, completîndu-le dealtfel în mai multe puncte esenţiale. Aceste rezultate remarcabile l-au condus pe É. Cartan la a relua întreaga teorie din punct de vedere global; combinînd propriile sale rezultate „infinitezimale" cu ideile lui H. Weyl şi cu cercetările sale proprii de geometrie riemanniană, el a reuşit printre altele să lămurească structura oricărui grup al lui Lie compact, şi să arate existenţa în orice grup al lui Lie global a unui subgrup compact maximal (teoremă care rămîne una dintre cele mai profunde ale întregii teorii); în afară de aceasta, el a pus pentru prima dată problema structurii grupurilor globale şi a spaţiilor lor omogene din punct de vedere al topologiei algebrice şi a arătat că pentru grupuri această structură se reduce la cea a subgrupului compact maximal. Problema l-a condus la o reluare a ideilor lui Poincaré asupra raporturilor dintre formele diferenţiale şi numerele lui Betti şi la stabilirea unei serii de proprietăţi ale numerelor lui Betti ale grupurilor simple clasice, dintre care pe unele a putut să le demonstreze.

---

[1] Am menţionat (p. 38) studiul mai recent al reprezentărilor liniare ale grupurilor lui Lie în spaţii (funcţionale) de dimensiune infinită. Este interesant de notat că această teorie are legături foarte strînse cu anumite tipuri de ecuaţii cu derivate parţiale şi între altele cu numeroase „funcţii speciale" (care generalizează legăturile, deja semnalate de É. Cartan, privitor la reprezentările de dimensiune finită, cu funcţiile sferice clasice); nu este imposibil ca într-o zi teoria acestor funcţii să fie complet unificată şi sistematizată cu ajutorul teoriei grupurilor lui Lie.

Aceste idei aveau să aibă o mare influenţă asupra tinerei generaţii începînd din 1935 (R. Brauer, H. Hopf şi elevii săi, Ehresmann), iar tehnicile omologice ale acestei epoci au permis verificarea ipotezelor lui É. Cartan asupra grupurilor clasice. În 1949, aceste rezultate au fost completate prin determinarea numerelor lui Betti ale grupurilor simple excepţionale (Yen-Chi-Tah, Chevalley), care a constituit punctul culminant al studiului procedeelor pur algebrice care permit obţinerea tuturor rezultatelor omologice căutate din algebra lui Lie a grupului (Koszul, H. Cartan, Chevalley, A. Weil). Ceva mai tîrziu, aplicarea de către A. Borel şi Serre a metodelor topologice mai avansate (spaţii fibrate clasifiante, puterile lui Steenrod, şiruri spectrale) a completat aceste rezultate printr-o serie de teoreme asupra torsiunii şi structurii multiplicative a coomologiei. În sfîrşit, recent, metode de o natură cu totul diferită (bazîndu-se pe calculul variaţional global (teoria lui Morse), îmbinate cu metodele moderne ale topologiei algebrice), au permis lui R. Bott să determine o mare parte dintre grupurile de omotopie ale grupurilor simple; datorită rolului central al grupurilor lui Lie în teoria spaţiilor fibrate, aceste rezultate au de pe acum o importanţă considerabilă, şi constituie primul exemplu al unei determinări explicite a şirului grupurilor $\pi_n(X)$ pentru un spaţiu X netrivial.

Alături de acest aspect topologic atît de bogat, grupurile lui Lie prezintă un aspect algebric care nu are o importanţă mai mică. Lie şi É. Cartan remarcaseră deja că grupurile simple au ecuaţii algebrice globale şi É. Cartan observase că grupul derivat al unui grup al lui Lie liniar poate fi totdeauna definit în acest mod. Ideile moderne de geometrie algebrică „abstractă" aveau deci să conducă în mod natural pe matematicienii contemporani la efectuarea unui studiu special al *grupurilor algebrice*, bineînţeles fără a se limita la cazul clasic al corpurilor de bază real sau complex; A. Weil şi Chevalley au fost iniţiatorii acestui curent. Aici, metodele infinitezimale au eşuat complet; dealtfel, chiar în cazul clasic există o întreagă categorie importantă de grupuri algebrice în care teoria lui Lie nu poate furniza decît rezultate banale, *varietăţile abeliene* al căror studiu, început de Riemann, a fost dezvoltat de către geometrii italieni; în zilele noastre această teorie, care are repercusiuni profunde în geometria algebrică şi în teoria numerelor, a fost extinsă la cazul abstract de A. Weil şi şcoala sa. Chevalley a demonstrat că un grup algebric oarecare G are un subgrup invariant liniar L, astfel încît cîtul G/L este o varietate abeliană; şi pentru grupurile liniare, datorită noilor metode ale lui A. Borel, el a reuşit în 1956 să demonstreze că (pe un corp algebric închis) clasificarea grupurilor semisimple este esenţial aceeași ca cea a lui Killing-É. Cartan din cazul „clasic", rezultat pe cît de neașteptat pe atît de promițător. A rămas să se abordeze cazul corpurilor de bază nealgebric închise; în particular este posibil ca studiul grupurilor lui Lie peste corpurile p-adice (p. 39) să aibă consecințe importante în problemele diofantice. În sfîrșit, ne rămîne să menționăm un ultim rezultat, cu totul remarcabil, al lui Chevalley (1955): pornind de la algebrele lui Lie simple peste numerele complexe, el a putut să deducă, printr-un procedeu uniform, grupuri (abstracte) simple definite pe un corp oarecare K; dacă K este finit, se obțin *grupuri simple finite*, dintre care unele tipuri sînt cu totul noi. Este de așteptat ca prin procedee analoage să se poată obține toate grupurile simple cunoscute actualmente, și aceasta va fi poate un pas spre rezolvarea uneia dintre problemele cele mai dificile ale algebrei actuale, determinarea tuturor grupurilor simple finite.

■

Notă. Dintre rezultatele mai importante obținute după redactarea acestui volum, în domeniul topologiei algebrice și diferențiale, menționăm:

Teoremele lui R.C. Kirby și L. Siebenmann, privind triangularea varietăților topologice. Acești autori au arătat, în anul 1968, că orice varietate topologică metrizabilă M, de dimensiune cel puțin 6 și avînd grupul de coomologie $H^4(M; Z_2)$ trivial, este triangulabilă; dacă și grupul $H^3(M; Z_2)$ este trivial, atunci structura combinatorie a varietății M este unică, ceea ce înseamnă că fiind date două triangulări arbitrare ale varietății M, acestea admit o subdiviziune comună. Deci *Hauptvermutung* este adevărată, pentru varietăți topologice metrizabile avînd grupurile de coomologie în dimensiunile 3 și 4, cu coeficienți întregi mod 2, nule.

Cei doi autori au mai arătat că orice varietate topologică compactă are tipul de omotopie al unui complex finit și că orice homeomorfism între două varietăți combinatorii compacte este o echivalență omotopică simplă.

O parte din rezultatele lui Kirby și Siebenmann au fost obținute în mod independent de R. Lashof și M. Rothenberg, demonstrațiile bazîndu-se pe un șir mare de rezultate parțiale profunde, datorate mai multor matematicieni de seamă.

Una dintre teoremele care au dat naștere unui mare număr de lucrări, din diferite domenii ale matematicii, este teorema lui Atiyah și Singer, care exprimă indexul analitic al unui operator diferențial eliptic D, definit între două spații fibrate vectoriale complexe, avînd ca bază o varietate diferențiabilă compactă și orientabilă, cu ajutorul unor invarianți omotopici, ce se exprimă la rîndul lor cu ajutorul claselor caracteristice. Demonstrațiile date acestei teoreme folosesc teoreme și tehnici din aproape toate ramurile matematicii moderne și au fost punctul de plecare al unor teorii noi sau prilej de dezvoltare și generalizare al unor teorii clasice din cele mai frumoase.

Probleme legate de fizica particulelor elementare au condus, în ultimii zece ani, la studiul singularităților aplicațiilor diferențiabile, urmărindu-se în special clasificarea acestor singularități și obținerea unor criterii de stabilitate, care să asigure că o deformare suficient de mică a unei aplicații diferențiabile nu modifică tipul singularității sale într-un punct sau pe o mulțime. Începută de Whitney și Thom, teoria a fost pusă la punct de J. Mather. Rezultatele acestor teorii au fost aplicate de F. Pham și colaboratorii săi în teoria integralelor Feynman. Thom a arătat implicațiile ce le au singularitățile aplicațiilor diferențiabile în diferite domenii ale științei, cum ar fi lingvistica sau biologia. — C. Teleman.

CAPITOLUL III

Teoria funcţiilor de variabile reale

Într-o simultaneitate aproape perfectă cu începutul secolului nostru, teoria funcţiilor de variabile reale a suferit o mutaţie totală, schimbîndu-şi radical natura.

APORTUL SECOLULUI AL XIX-LEA. Secolul al XIX-lea fixase, progresiv dar anevoie, ideile fundamentale pe care avea să se bazeze noua construcţie.

În 1821, Cauchy a definit continuitatea şi convergenţa. Ceea ce dădea definiţiilor sale un caracter nou şi definitiv era ignorarea mijlocului prin care funcţiile erau cunoscute, în timp ce, înainte, expresia formală şi funcţia constituiau două măsuri inseparabile.

Dar Cauchy nu a utilizat aceste puternice instrumente matematice decît în domeniul funcţiilor analitice cărora le-a creat admirabila teorie. Şcoala sa nu s-a interesat de funcţiile de o variabilă reală decît atunci cînd acestea coincideau cu valorile luate pe axa reală de către o funcţie analitică. Exploatînd în cîmpul real principiile puse de Cauchy, Weierstrass a analizat noţiunea de continuitate a unei funcţii de o variabilă în orice punct al unui segment (a, b), inclusiv extremităţile; el a precizat noţiunile capitale de uniformitate, de continuitate uniformă pe (a, b) şi de convergenţă uniformă a unei serii. El a demonstrat independenţa noţiunilor de continuitate şi de derivabilitate (v. vol. III, 1, p. 75).

El a revenit totuşi la vechea preocupare clasică a funcţiei supusă modului ei de exprimare. El dovedeşte că orice funcţie continuă este suma unei serii de polinoame uniform convergente. Convergenţa, în orice punct, a unei serii de funcţii continue nu asigură continuitatea sumei lor; seriile trigonometrice au dovedit-o. A trebuit să se aştepte sfîrşitul secolului al XIX-lea pentru ca Arzela să dea, împreună cu noţiunea de cvasiuniformitate a convergenţei, condiţia necesară şi suficientă pentru ca suma seriei să fie continuă.

O altă cucerire decisivă: principiul formulat de Dirichlet după care y este funcţie de x îndată ce, printr-un procedeu oarecare, oricărui x dat îi corespunde un y determinat. De subliniat că aceste noţiuni şi definiţii aplicabile la studiul variabilelor reale au fost create pentru o variabilă unică, cu ideea implicită că dificultăţile esenţiale erau în întregime conţinute în acest caz.

A apărut apoi celebra definiţie dată de Dedekind numărului iraţional.

Instrumentele logice sînt acum create. Mai lipseau materialele. Cantor avea să le procure prin teoria sa a mulţimilor, ale cărei exemple vor fi formate cu punctele dreptei, punctele și numerele fiind confundate în mintea sa (v. vol. III, 1, pp. 78—80).

O mare cotitură a teoriei urma să se producă. Înainte funcțiile erau considerate numai pe intervale iar vecinătatea unui punct era un interval. Acum funcțiile vor fi studiate pe mulțimi oarecare de puncte, vecinătatea unui punct reducîndu-se la puncte ale acestei mulțimi. Continuul este pulverizat: el este o pulbere de puncte ale lui Dedekind. Este permis să se formeze cu acestea orice agregate dorim.

Ideile lui Cantor au fost primite de matematicieni cu uimire și uneori cu mînie. Timp de 20 de ani, numai cîțiva analiști cu vederi totuși foarte clasice, ca Poincaré cu funcțiile sale fuchsiene și cu traiectoriile sale pe un tor, sau ca Painlevé cu punctele sale esențiale neizolate ale funcțiilor analitice, au adoptat mulțimile perfecte total discontinue.

Măsura mulțimilor a fost creată după aceea[1]. Aproape simultan, Baire, apoi Lebesgue, au deschis o eră nouă teoriei funcțiilor de variabile reale.

TEORIILE LUI BAIRE. Gîndirea lui Baire s-a adaptat strîns celei a lui Cantor. Datorită lui, posibilitățile oferite de Cantor analiștilor, numărabilul, transfinitul, mulțimile geometrice și-au dezvăluit bogăția. Înainte se pusese problema cum să se constrîngă un șir de funcții continue ca să convergă către o funcție continuă. Baire schimbă complet problema: ce caracteristici necesare și suficiente trebuie să prezinte $f(x)$ pentru a fi limita unui șir de funcții continue? Baire rezolvă această problemă printr-o analiză admirabilă.

O funcție care are un singur punct de discontinuitate, și apoi un număr finit de astfel de puncte, este limită de funcții continue. Cantor a definit derivata unei mulțimi infinite E. Aceasta este mulțimea E' a punctelor de acumulare ale lui E, adică a acelor puncte care au o infinitate de puncte ale lui E în vecinătatea lor. Această derivată poate fi infinită și să admită o derivată. Se pot defini derivatele de orice ordin α finit sau transfinit. Dacă α are un precedent $\alpha-1$, E^α este derivata lui $E^{\alpha-1}$; dacă nu are precedent, atunci E^α reprezintă mulțimea comună tuturor mulțimilor $E^{\alpha'}$ pentru $\alpha' < \alpha$. O mulțime care are derivată nulă se numește reductibilă; ea este numărabilă. Dacă mulțimea punctelor de discontinuitate ale lui f este reductibilă, f este limită de funcții continue. Dacă mulțimea nu este reductibilă, una dintre derivatele sale este perfectă.

Baire a definit mulțimile dense, peste tot dense și nedense pe o mulțime perfectă dată P. El a arătat că P nu poate fi sumă a unei infinități numărabile de mulțimi nedense pe el. El a dat unei astfel de sume numele de mulțime de prima categorie pe P. Orice mulțime inclusă în P și care nu este de prima categorie pe P se numește de categoria a doua. Denjoy va da numele de rezidual al lui P mulțimii situate pe P și a cărei mulțime complementară față de P constituie o mulțime de prima categorie.

Baire a descoperit că mulțimea perfectă, chiar total discontinuă, oferă funcțiilor un suport în mod sensibil echivalent continuului. El a definit, în orice punct al unei mulțimi perfecte P, maximul, minimul, oscilația, relative la P, ale unei funcții definite pe P. El a demonstrat că, pentru orice funcție limită de funcții continue, și pentru orice mulțime perfectă P, mulțimea punctelor de discontinuitate ale lui f relative la P este de prima categorie; f este deci punctual discontinuă pe P (punctele de continuitate sînt peste tot dense pe P). Această condiție necesară este și suficientă. Baire a demonstrat-o, învingînd dificultăți considerabile.

---

[1] Vezi studiul lui P. Montel, pp. 27—28.

Funcțiile limite de funcții continue sînt numite de către Baire clasa 1 a funcțiilor, clasa 0 fiind cea a funcțiilor continue. Funcțiile de prima clasă sînt suma unei serii peste tot convergentă ai cărei termeni sînt polinoame, ceea ce le reduce la o formă tradițională.

Derivatele funcțiilor continue, sumele seriilor trigonometrice convergente sînt funcții de clasa 1. Și de asemenea (Denjoy): funcțiile aproximativ continue sau cu continuitate preponderentă, derivatul bilateral unic al unei funcții continue, sau derivata sa aproximativă, sau preponderentă, presupuse a exista în orice punct al unui interval.

Baire a descompus continuitatea în două semicontinuități, una superioară și alta inferioară, în fiecare punct, neglijînd un membru extrem al dublei inegalități $f(x) - \varepsilon \leqslant f(x) \leqslant f(x) + \varepsilon$. Funcțiile semicontinue sînt de clasa 1. Această concepție are o foarte mare forță.

Baire consideră și funcțiile limită ale unui șir convergent de funcții de clasa 1. Ele se numesc de clasa 2, dacă nu sînt de clasa 0 sau 1. Această idee se urmărește la toate ordinele finite sau transfinite. O funcție de clasa α este limita unui șir convergent de funcții de clase inferioare lui α, fără a fi ea însăși de o clasă mai mică decît α. După ce și-a consacrat teza de doctorat (1901) marei sale teoreme, Baire s-a angajat să caracterizeze funcțiile de clasa 2, apoi cele de clasa 3, pentru care a format un exemplu efectiv. La Moscova, d-na Keldîș a obținut funcții de orice clasă finită. Ele se identifică cu funcțiile caracteristice ale mulțimii numerelor a căror dezvoltare în fracții continue se efectuează prin șiruri de cîturi incomplete cu particularități determinate. Pe la 1930, Luzin a definit condițiile necesare și suficiente pentru ca o funcție să fie de clasă α, pentru orice număr α din clasele I și II. După 1920, școala poloneză, prin memorii numeroase și profunde, a împins foarte departe studiul funcțiilor lui Baire.

Teorema lui Baire care caracterizează funcțiile de clasa 1 este valabilă pentru funcțiile de mai multe variabile. Lebesgue a arătat că o funcție ce depinde de n variabile x_i și de clasa 1 față de fiecare din ele, poate fi de clasa n pe dreapta $x_1 = x_2 = \ldots = x_n$.

Orice funcție continuă pe un segment putînd fi aproximată indefinit printr-un polinom, funcțiile lui Baire sînt apte să fie exprimate prin serii multiple de polinoame: ele sînt reprezentabile „analitic“.

TEORIILE LUI LEBESGUE. În 1902, Lebesgue a definit renumita sa integrală în teza sa. Măsura unei mulțimi liniare E situată pe un segment (a, b) de lungime $l = b - a$ a fost definită de Lebesgue, ca și de Borel, considerînd, odată cu E, complementara E' a lui E pe (a, b).

Se înglobează elementele lui E şi cele ale lui E' în două sisteme de intervale $\sum$, $\sum'$. Fie m_e şi m'_e minimurile sumei lungimilor intervalelor $\sum$ şi $\sum'$, pentru toate sistemele posibile. Lebesgue numeşte m_e măsura exterioară a lui E şi $m_i = l - m'_e$, măsura sa interioară. E (şi concomitent E') va fi numită măsurabilă şi de măsură m dacă $m_i = m_e = m$.

Aceste consideraţii nu aduceau inovaţii faţă de măsura lui Borel, dar Lebesgue a arătat, ceea ce Borel nu părea să fi bănuit, că există mulţimi nemăsurabile, ca acelea pentru care $m_i = 0$ şi $m_e = 1$.

În 1910, Denjoy a remarcat că E, micşorat cu partea sa comună cu $\sum'$, devine o mulţime închisă de măsură superioară lui $m_i - \varepsilon$, ε pozitiv putînd fi presupus oricît de mic. El a tras concluzia că măsura interioară a lui E este maximul măsurilor mulţimilor închise incluse în E şi că orice mulţime măsurabilă este suma unui şir de mulţimi perfect dense în ele însile şi a unei mulţimi de măsură nulă. Topologia funcţiilor a profitat din acel moment de ipoteze metrice.

Lebesgue a introdus noţiunea fundamentală de *funcţie măsurabilă*:

$f(x)$ este măsurabilă dacă, oricare ar fi numerele A şi B $(A < B)$, mulţimile de numere x care verifică $A < f(x) < B$ sînt măsurabile. Măsurabilitatea mulţimilor $A < f(x)$, sau $A \leqslant f(x)$, oricare ar fi A, sau $f(x) > B$, sau $f(x) \geqslant B$, oricare ar fi B, atrage după sine pe cea a lui $f(x)$ considerată pe un interval finit.

Maximul, minimul, limita superioară sau limita inferioară, limita unică ale unui şir infinit de funcţii măsurabile sînt funcţii măsurabile. Practic, toate funcţiile întîlnite în analiza matematică sînt măsurabile, în timp ce caracteristicele legate de continuitate se pierd imediat prin trecerea la limită a unui şir.

Integrala lui Lebesgue se defineşte astfel:

$f(x)$ fiind o funcţie măsurabilă, definită pe intervalul (a, b), fie l_i un şir nelimitat de numere crescătoare tinzînd la infinit odată cu $|i|$ şi care verifică $l_i - l_{i-1} < \omega$ şi $l_0 = 0$. Fie m_i măsura mulţimilor valorilor lui x care verifică $l_{i-1} \leqslant f(x) < l_i$. Dacă seria $\sum\limits_{-\infty}^{+\infty} l_i m_i$ este absolut convergentă ea tinde către o limită I cînd ω (independent de i) tinde către zero; I este integrala lui Lebesgue $\int_a^b f(x)\mathrm{d}x$. Fie respectiv $m(y)$ pentru $y > 0$, şi $m'(y)$ pentru $y < 0$, măsurile mulţimilor x definite de $f(x) > y > 0$ şi $0 > y > f(x)$. I este diferenţa celor două integrale ale lui Riemann, integrale de funcţii descrescătoare în raport cu $|y|$,

$$\int_0^{\infty} m(y)\mathrm{d}y - \int_{-\infty}^{0} m'(y)\mathrm{d}y \text{ (Young, Denjoy).}$$

Se poate integra termen cu termen un şir de funcţii măsurabile mărginite ce tinde către o limită (Lebesgue). Un rezultat atît de general stabilea imensa superioritate a integralei lui Lebesgue faţă de cea a lui Riemann, pentru care aceeaşi operaţie nu era permisă decît în condiţii foarte speciale.

Oricare ar fi ε pozitiv dat, orice funcţie sumabilă este suma unei funcţii continue şi a unei funcţii a cărei valoare absolută are o integrală inferioară lui ε (Luzin).

Dacă numărul $\lambda(x)$ finit, sumabil, este în fiecare punct al unui interval (a, b), şi de aceeaşi parte, un număr derivat extrem (sau mediu—de La Vallée-Poussin) a funcţiei continue $F(x)$, integrala lui Lebesgue $\int_a^b \lambda(x)\mathrm{d}x$ are valoarea $F(b) - F(a)$.

De la Vallée-Poussin a considerat majorantele şi minorantele lui $F(x)$, adică funcţiile $A(x)$ şi $B(x)$, definite astfel încît numărul derivat inferior a lui A să fie superior sau egal lui $\lambda(x)$ iar numărul derivat superior lui B să fie inferior sau egal cu $\lambda(x)$. Dacă funcţia măsurabilă de perioadă 2π şi dezvoltabilă trigonometric este mărginită, formulele lui Fourier a căror integrală este cea a lui Lebesgue, sînt valabile; această concluzie a fost extinsă de către de La Vallée-Poussin la cazul în care funcţia este numai sumabilă.

Lebesgue a stabilit această propoziţie fundamentală: dacă $f(x)$ este sumabilă pe intervalul (a, b), integrala $\int_a^b f(\mathrm{d}x)x$ este o funcţie continuă care admite pe $f(x)$ ca derivată în orice punct, afară, eventual, de o mulţime de măsură nulă.

STUDII CONEXE. Denjoy a dat relaţiile între sumele ce intervin în definirea integralei lui Riemann a unei funcţii $f(x)$ pe un interval (a, b) şi integrala lui Lebesgue $I = \int_a^b f(x)\mathrm{d}x$, dacă $f(x)$ este sumabilă.

Derivata $f(x)$ a funcţiei continue $F(x)$ nu este neapărat sumabilă. Suma $g(x)$ a unei serii trigonometrice convergente nu este în general sumabilă, dar ea este derivata a doua generalizată a unei funcţii continue $G(x)$ care nu are totdeauna o derivată primă continuă.

Integrala lui Lebesgue nu este suficientă pentru a rezolva în toate cazurile problema găsirii primitivei unei derivate date, nici coeficienţii seriei trigonometrice a unei funcţii date. Integrarea care să depăşească aceste dificultăţi ar trebui să fie mai puternică decît cea a lui Lebesgue, confundîndu-se totuşi cu ea în cazul în care funcţiile de integrat sînt sumabile. Acest rezultat a fost obţinut prin descoperirea de către Denjoy în 1912 a *totalizării* care permite revenirea de la derivată la funcţie. Montel a remarcat că aceeaşi operaţie permitea integrarea numerelor derivate extreme presupuse toate finite în orice punct al lui (a, b).

Pentru a studia mai profund aceste probleme, Denjoy a dezvoltat o teorie a derivării de primul ordin, pe baza unor considerente atît descriptive cît şi metrice, şi a obţinut următoarele rezultate:

Cele patru numere derivate extreme ale unei funcţii continue se grupează, dacă se neglijează faptele întîlnite pe mulţimile de măsură nulă, în patru moduri posibile. Două derivate extreme de aceeaşi parte, numite „asociate“, şi două derivate de părţi şi de ranguri diferite, numite „opuse“; cele două derivate asociate sînt sau amîndouă finite şi egale sau diferite şi cel puţin una infinită; cele două derivate opuse sînt finite şi egale sau infinite şi neegale.

Denjoy a introdus totalizarea completă şi totalizarea simplă. Prima conduce la derivata simplă, iar cealaltă la derivata aproximativă care reprezintă o noţiune întîlnită independent de Hincin (1916).

Există identitate între totalele simple indefinite şi funcţiile rezolubile. O funcţie se numeşte rezolubilă dacă variaţia sa pe orice mulţime perfectă subţire este reductibilă la zero. Orice funcţie rezolubilă are o derivată aproximativă a cărei totală nedefinită este.

Sînt rezolubile funcţiile care au în fiecare punct un număr derivat extrem finit, sau o derivată exactă sau aproximativă finită; sau (mai precis) un număr derivat finit dintr-o parte invariabilă pe o grosime superioară lui 1/2; sau funcţiile ce au o derivată secundă generalizată finită etc.

În 1921 Denjoy a dat procedeul de integrare care permite calculul formulelor lui Fourier. Încă din 1913 el publicase exemple foarte generale de derivate mărginite care iau cele două semne în orice interval și care au proprietatea zisă de continuitate aproximativă.

ALTE SUBIECTE. Sumarea convențională a seriilor divergente a fost imaginată de Cesáro. Fejer a arătat că seria lui Fourier a oricărei funcții continue converge prin prima sumă a lui Cesáro. Borel a extins mult capacitatea acestor procedee și le-a aplicat la prelungirea seriilor întregi complexe în afara cercului lor de convergență. De atunci numeroși matematicieni au imaginat procedee de sumare foarte variate și le-au studiat în amănunțime proprietățile (Mittag-Leffler, M. Riesz, O. Töplitz etc.) în special prin metodele analizei funcționale (Banach și școala sa).

Prin metode împrumutate din teoria funcțiilor de variabile complexe, Borel a obținut în 1912 clase de funcții reale, pe care le-a numit cvasianalitice și care au proprietatea de a fi determinate pe tot intervalul lor de existență prin cunoașterea valorii lor și a tuturor derivatelor lor într-un punct, chiar dacă seria lui Taylor a funcției are o rază de convergență nulă în acest punct sau chiar în toate punctele. Denjoy avea să dea în 1921 explicația acestei proprietăți a funcțiilor lui Borel. Studiul acestor funcții a fost continuat și aprofundat de numeroși matematicieni (Carleman, Mandelbrojt, Kolmogorov, H. Cartan etc.).

Integrala lui Stieltjes și-a dovedit importanța cînd F. Riesz a stabilit că orice funcțională liniară este o integrală Stieltjes: $E(f)$, *funcțională liniară continuă* definită în spațiul H al funcțiilor continue pe un interval compact (a, b) este o integrală Stieltjes:

$$E(f) = \int_a^b f(x)d\omega(x),$$ unde ω este o funcţie cu variaţie totală finită în (a, b).

A spune că o funcţională $E(f)$, definită în H, este liniară şi continuă, înseamnă că, pe de o parte, pentru f_1 şi f_2 constante, avem $E(k_1f_1 + k_2f_2) = k_1E(f_1) + k_2E(f_2)$ iar, pe de altă parte, că pentru toate funcţiile f din H astfel încît $|f(x)| \leqslant 1$ în (a, b), mulţimea numerelor $E(f)$ este mărginită.

Studiul seriilor trigonometrice şi, mai general, al seriilor de funcţii ortogonale au cunoscut importante rezultate datorită lui Kolmogorov, Menşov, Luzin. Între timp, H. Bohr a creat teoria funcţiilor aproape periodice.

$f(x)$ aparţine acestei clase dacă există două şiruri l_n nelimitat crescătoare şi ε_n descrescînd la zero, şi pentru orice întreg p, $\lambda_{n,p}$ verificînd $pl_n < \lambda_{n,p} < (p+1)l_n$, astfel încît $|f(x + \lambda_{n,p}) - f(x)| < \varepsilon_n$ oricare ar fi x.

Această noţiune a fost mult generalizată în continuare, în special de H. Weyl, Stepanov, Bezicovici; noţiunea înrudită de funcţie periodică în medie a fost introdusă de J. Delsarte şi studiată de el însuşi şi de L. Schwartz. Aceste noţiuni se extind la funcţii de mai multe variabile reale şi chiar la funcţii definite pe spaţii foarte generale; ele se leagă strîns de teoria modernă a grupurilor compacte şi local compacte (v. pp. 36—37).

În sfîrşit, teorema lui Weierstrass asupra aproximării uniforme a unei funcţii continue oarecare prin polinoame a declanşat numeroase lucrări privind rapiditatea aproximării (Ch. de La Vallée-Poussin, S. Bernstein şi şcoala sa etc.) sau teoremele de aproximare analoage cu ajutorul altor funcţii (S. Bernstein, Mandelbrojt).

CAPITOLUL IV

Funcţii de variabile complexe

DEFINIŢII. Prin lucrările lui Cauchy, Riemann, Weierstrass şi Poincaré, secolul al XIX-lea a fost martorul dezvoltării teoriei funcţiilor de variabile complexe. Această teorie a cunoscut, în prima jumătate a secolului al XX-lea, un aspect nou şi puternic dezvoltîndu-se în diferite direcţii. Ea a profitat de munca de purificare a noţiunilor matematice care s-a dezvoltat din plin, debarasînd propoziţiile de ipotezele parazite care le uşurau demonstraţia, fără a fi necesare validităţii lor.

O funcţie de o variabilă complexă se numeşte *monogenă* într-un domeniu dacă ea admite o derivată în fiecare punct interior, oricare ar fi drumul urmat de un punct vecin care vine să se confunde cu primul (Cauchy). Funcţia se numeşte *analitică* dacă, în jurul fiecărui punct, ea este reprezentabilă printr-o serie întreagă (Weierstrass şi Méray). É. Borel a arătat că aceste definiţii nu sînt echivalente: clasa funcţiilor monogene este mai cuprinzătoare decît cea a funcţiilor analitice.

O funcţie de variabilă complexă se numeşte *olomorfă* într-un domeniu dacă integrala sa de-a lungul oricărui contur închis este nulă. Ea se numeşte *multivalentă* de ordin p dacă ia fiecare dintre valorile sale de cel mult p ori şi dacă ia efectiv de p ori una dintre ele; pentru $p = 1$, funcţia se numeşte *univalentă* (P. Montel). F. Marty a arătat că domeniul unei funcţii analitice multivalente poate fi împărţit în *celule de univalenţă.*

O funcţie analitică univalentă într-un domeniu dă o *reprezentare conformă* a acestui domeniu din planul variabilei pe domeniul planului reprezentativ al valorilor funcţiei. Această corespondenţă biunivocă conservă unghiurile şi, în fiecare punct, conservă raportul lungimilor a două arce infinit mici cu originea în acest punct.

Fie $f(z) = u(x,y) + iv(x,y)$, $z = x + iy$, în care u şi v reprezintă funcţii reale de variabilele reale x şi y. Dacă funcţia este monogenă în z, subzistă relaţiile

$$\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0. \tag{1}$$

Reciproca nu este valabilă. Menşov a arătat că ea are loc dacă funcţia $f(z)$ admite derivate finite în x şi y şi admite o diferenţiere totală a lui Stoltz-Fréchet şi în particular dacă derivatele sînt continue.

Goursat a demonstrat că o funcţie monogenă în fiecare punct al unui domeniu este olomorfă în acest domeniu. Pompeiu a adăugat că, dacă $f(z)$ este continuă, este suficient ca funcţia să fie monogenă, cu excepţia poate a unei mulţimi numărabile de puncte.

Loomann presupune doar că $f(z)$ este continuă şi verifică condiţiile (1), iar Menşov a presupus că poate exista o mulţime numărabilă excepţională. Montel presupune $f(z)$ mărginită şi condiţiile (1) verificate aproape peste tot.

S-a pus şi problema reducerii condiţiilor de monogeneitate într-un punct. Montel a arătat că este suficient ca $f(z)$ să aibă aceeaşi derivată în două direcţii rectangulare fixe. Menşov a arătat apoi că direcţiile pot să facă un unghi variabil şi că poate exista o mulţime numărabilă excepţională.

Existenţa unei derivate într-un punct, adică a unei limite pentru raportul $\frac{\Delta f}{\Delta z}$ al creşterilor funcţiei şi variabilei, cînd cea din urmă tinde arbitrar spre zero, revine la a admite că $\left|\frac{\Delta f}{\Delta z}\right|$ şi arg $\frac{\Delta f}{\Delta z}$ au fiecare o limită în aceleaşi condiţii. Cazul în care este asigurată existenţa doar a uneia dintre aceste două limite a făcut obiectul cercetărilor lui H. Bohr, D. Menşov, M. Rademacher, Y. Fedorov.

În cele ce urmează vom presupune că există aceeaşi limită, fie în toate direcţiile, fie în trei direcţii. Se obţin atunci următoarele rezultate:

$f(z)$ este monogenă dacă admite o diferenţială totală a lui Stoltz-Fréchet şi dacă arg $\frac{\Delta f}{\Delta z}$ verifică condiţia de mai sus. $f(z)$ este monogenă sau conjugata unei funcţii monogene dacă $\left|\frac{\Delta f}{\Delta z}\right|$ verifică condiţia de mai sus. Se obţin aceleaşi rezultate presupunînd că $f(z)$ este continuă şi univalentă iar condiţiile impuse argumentului sau modulului sînt verificate în fiecare punct cu excepţia poate a punctelor unei mulţimi numărabile.

Noţiunea de monogeneitate a fost extinsă prin introducerea în 1912 de către Pompeiu a derivatei areolare. Această derivată, reprezentată prin notaţia $\frac{Df}{D\omega}$, este o combinaţie liniară a expresiilor ce figurează în condiţiile (1). Prin definiţie,

$$\frac{Df}{D\omega}=\frac{1}{2}\left[\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{\partial v}{\partial y}+\mathrm{i}\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right].$$

Avem, de asemenea, $\frac{Df}{D\omega}=\lim\limits_{\omega\to 0}\frac{\int_C f(z)\,dz}{\omega}$, cînd domeniul ω mărginit de conturul C se reduce la punctul considerat.

Funcţiile a căror derivată areolară este nulă sînt funcţii monogene; ele joacă aici acelaşi rol ca şi constantele în cazul derivatei ordinare. Celelalte funcţii se numesc *poligene*. Pentru funcţiile ce admit o derivată areolară, D. Pompeiu a stabilit formule analoage celor ale lui Cauchy pentru funcţiile olomorfe.

Studiate iniţial de M. Kasner, apoi de T. Hayashi şi P. Burgatti, funcţiile poligene au condus, începînd din 1930, la numeroase cercetări, în special efectuate de şcoala română de matematică. N. Teodorescu a introdus funcţiile *monogene* (α), şi, cînd derivata areolară este continuă, funcţiile *olomorfe* (α). Alte cercetări sînt datorate lui Griffith, Evans, Gr. C. Moisil, A. Tonolo, E. Martinelli, J. Vignaux, M. Cotlar, V. C. Poor, J. Ridder, F. Pollaczek,

V. S. Fedorov, N. Vekua. Au fost introduse ecuațiile diferențiale areolare, polinoamele areolare și, mai recent, generalizări la spații cu mai multe dimensiuni (B. V. Bojarski, I. Elianu).

Aplicațiile acestor noțiuni privesc fizica matematică, în particular elasticitatea și hidrodinamica.

O funcție monogenă admite și o primitivă în domeniul său de existență datorită faptului că integrala acestei funcții luată de-a lungul unui arc de curbă cu originea într-un punct fix al acestui domeniu are o valoare independentă de drumul urmat, deoarece, după teorema lui Cauchy, integrala de-a lungul unui contur închis este nulă. În consecință, valorile funcției într-un domeniu interior domeniului său de existență sînt determinate prin cunoașterea acestor valori pe conturul domeniului. Nu același lucru se poate afirma despre funcțiile ce admit o derivată areolară nenulă, deoarece formulele lui D. Pompeiu fac să intervină valorile acestei derivate în interiorul domeniului.

OLOMORFIE. Dacă se reprezintă variabila complexă printr-un punct din plan raportat la două axe rectangulare, o funcție analitică $Z = f(z)$ face să corespundă fiecărui punct z al unui domeniu (d) din planul z, un punct Z al unui domeniu (D) din planul Z. Dacă unei valori a a variabilei îi corespunde valoarea infinită a lui Z, punctul a se numește *pol* al funcției $f(z)$. Dacă o funcție analitică admite poli într-un domeniu (d), ea se numește *meromorfă* în (d); o funcție olomorfă nu ia decît valori finite. Și una și alta se numesc *regulate* în (d).

Inițial polul a fost considerat ca un punct singular al funcției. Acum el este considerat ca un punct ordinar. Dealtfel este suficient să se efectueze asupra funcției o transformare omografică, de exemplu, să i se ia inversa, pentru a regăsi o valoare finită.

Se observă că, în planul complex, valoarea infinită corespunde unui singur punct în timp ce, în planul proiectiv, punctele de la infinit formează o dreaptă.

Ne putem da seama ușor de această particularitate cu ajutorul unei proiecții stereografice. Dacă, pornind din punctul O' al spațiului, situat pe normala la planul ce trece prin originea O la distanța 1, se transformă planul printr-o inversiune cu centrul O' de putere 1, se obține suprafața unei sfere cu diametrul OO'. Punctul de la infinit al planului corespunde punctului O' al sferei. Înlocuind planele complexe z și Z prin sferele lui Riemann ale lor, relația $Z = f(z)$ face să corespundă fiecărui punct din domeniul sferic (δ) al lui z un punct al domeniului sferic (Δ) al lui Z.

Derivata sferică a lui $f(z)$, introdusă de către F. Marty, este definită ca limita raportului lungimilor a două arce infinit mici corespondente trasate pe cele două sfere. Această derivată $\mathfrak{D}f$ are ca expresie $\mathfrak{D}f(z) = |f'(z)| \dfrac{1 + |z|^2}{1 + |f(z)|^2}$.

Valoarea sa nu se schimbă în cele două puncte diametral opuse ale sferei lui z corespunzînd valorilor z și $-1/\bar{z}$, sau Z și $-1/\bar{Z}$. Derivata sferică are totdeauna o valoare finită, pozitivă sau nulă.

Pînă acum am considerat numai funcțiile analitice ce au în fiecare punct o valoare unică: o asemenea funcție se numește *uniformă*. Dacă fiecărei valori a lui z îi corespund mai multe valori ale lui $f(z)$, în număr finit sau infinit, ca în cazul lui Z^m, cu m neîntreg sau $\log z$, funcţia se numeşte *multiformă*. Atunci pentru a reprezenta valorile sale se foloseşte o *suprafaţă a lui Riemann*, formată din foi plane suprapuse sau o sferă a lui Riemann formată din foi sferice suprapuse.

PUNCTE SINGULARE. Un punct în care o funcţie $f(x)$ nu este monogenă se numeşte punct *singular*. El este *izolat*, dacă într-un cerc suficient de mic cu centrul în acest punct nu există un alt punct singular. În caz contrar, el aparţine unei mulţimi de puncte singulare. Această mulţime este închisă, deoarece un punct regulat fiind înconjurat de puncte regulate, orice punct limită de puncte singulare este singular.

Existenţa unei mulţimi de puncte singulare este compatibilă cu continuitatea funcţiei. D. Pompeiu a construit o funcţie continuă care admite o mulţime perfectă discontinuă de puncte singulare. Punctele singulare pot forma linii, numite *linii singulare*, sau regiuni numite *spaţii lacunare*. Cazul punctului singular esenţial izolat a condus la cercetări extrem de numeroase. Weierstrass a demonstrat că, în vecinătatea unui astfel de punct, funcţia ia valori oricît de apropiate vrem de orice valoare. În 1879 Émile Picard a descoperit o teoremă celebră, sursă de consecinţe considerabile; în vecinătatea unui punct singular esenţial izolat funcţia ia orice valoare de o infinitate de ori, în afară de cel mult de două. Demonstraţia dată de Picard se bazează pe folosirea unei funcţii transcendente, funcţia modulară. É. Borel a dat în 1896 o demonstraţie cu un caracter elementar. Pot deci exista una sau două valori pe care funcţia nu le ia în jurul punctului esenţial: ele se numesc *valori excepţionale*. Anastassiadis a fost preocupat de determinarea condiţiilor de existenţă ale unei valori excepţionale şi de calculul acestei valori în cazul funcţiilor întregi de gen finit (1958).

Teorema lui Picard a fost extinsă de P. Montel la cazuri mai generale. Existenţa unei valori excepţionale a se poate exprima prin faptul următor: curba $W = f(z)$ nu întîlneşte dreapta $w = a$. Teorema lui Picard afirmă că în jurul unui punct singular esenţial, această curbă întîlneşte obligatoriu de o infinitate de ori un sistem de trei drepte paralele. Montel a arătat că acest sistem poate fi înlocuit printr-o cubică sau prin orice curbă algebrică care admite cel puţin trei ramuri distincte. Ulterior el a introdus noi elemente excepţionale.

Dacă o curbă ajunge la un punct esenţial, se poate întîmpla ca funcţia să ia pe curbă valori avînd o limită unică. Această valoare se numeşte o *valoare asimptotică*. Orice valoare excepţională este şi asimptotică. Valorile asimptotice au fost studiate de L. Ahlfors, A. Denjoy, G. Valiron. Teorema lui Picard, în cazul unei funcţii regulate în plan, este echivalentă cu imposibilitatea identităţii $P + Q + R = 0$, unde P, Q, R sînt funcţii întregi lipsite de zerouri (É. Borel).

Lucrări importante în cazul general al unei identităţi de aceeaşi natură pentru un număr oarecare de funcţii sînt datorate lui A. Bloch şi H. Cartan.

Operaţiile obişnuite ale algebrei şi analizei conservă monogenitatea şi analiticitatea şi în particular convergenţa uniformă. S-au studiat condiţiile care atrag după sine această convergenţă: convergenţa într-o infinitate de puncte a domeniului sau a frontierei sale.

Convergenţa simplă conduce la o funcţie limită ale cărei regiuni de analiticitate sînt peste tot dense. H. Lebesgue a arătat că orice funcţie continuă de variabila z poate fi obţinută printr-o serie dublă de funcţii analitice.

FUNCŢII ÎNTREGI SAU MEROMORFE. Cazul unei funcţii definită în tot planul şi care nu are decît un punct singular esenţial a fost intens studiat. Se poate oricînd presupune că punctul singular se găseşte la infinit. Se obţine atunci o funcţie meromorfă în tot planul sau, dacă ea nu admite poli, o *funcţie întreagă.*

O funcţie întreagă poate fi reprezentată în tot planul printr-o serie întreagă de variabila z. În cercul $|z| \leqslant r$ modulul acestei funcţii admite un maxim $M(r)$ care creşte nelimitat cu r.

O funcţie întreagă este de asemenea reprezentabilă printr-un produs infinit în care fiecare factor dă un *zero* al funcţiei, adică o valoare a variabilei care anulează funcţia. Acest produs permite introducerea noţiunii de *gen.* Genul poate fi finit sau infinit (Weierstrass).

Funcţia $M(r)$ conduce la noţiunea de *creştere* care depinde de rapiditatea cu care această funcţie se apropie de infinit. Se introduce astfel noţiunea de ordin de creştere sau *ordin* al funcţiei întregi, noţiune care precizează pe cea de gen. Ordinul poate fi finit sau infinit. Lucrările fundamentale asupra acestor noţiuni sînt datorate lui H. Poincaré, J. Hadamard, É. Borel, G. Valiron, Blumenthal.

O funcţie meromorfă în tot planul apare deci ca un cît a două funcţii întregi, sau ca un cît a două produse infinite. Noţiunile de gen şi de ordin se extind uşor la aceste funcţii.

Funcţiile ce admit un număr finit de puncte esenţiale în plan au fost studiate de Maillet şi în special funcţiile numite *cvasiîntregi.* Dacă se aranjează modulele r_n ale zerourilor lui $f(z)-a$ în ordinea mărimii nedescrescătoare, studiul seriilor cu termenul general $1/r_n^\alpha$ este de mare utilitate. În cazul unei funcţii întregi de ordin ρ seria este convergentă pentru $\alpha = \rho + \varepsilon$, oricît de mic ar fi numărul pozitiv ε, şi divergentă pentru $\alpha = \rho - \varepsilon$ cu excepţia poate a unei valori unice a lui a dacă ρ este întreg. Numărul ρ se numeşte *exponent de convergenţă*; el este acelaşi pentru orice a cu excepţia unei valori unice a lui a numită *valoare excepţională a lui Borel.* Această noţiune lărgeşte pe cea de valoare excepţională a lui Picard. Teorema lui Picard şi cea a lui Borel formează extinderea completă a teoremei lui d'Alembert pentru polinoame, care arată că un polinom ia orice valoare finită şi că orice valoare este luată de un număr de ori egal cu gradul polinomului.

Teoria funcţiilor întregi sau meromorfe a devenit mai pătrunzătoare datorită lucrărilor lui R. Nevanlinna. El a introdus o funcţie caracteristică $T(r)$ care joacă pentru o funcţie întreagă acelaşi rol ca şi $\log M(r)$ şi care, pentru o funcţie meromorfă, rămîne mereu finită şi crescătoare, în timp ce $M(r)$ devine infinită. Rezultatele lui R. Nevanlinna au arătat că există un echilibru între modulele punctelor în care $f(z)$ ia valoarea a şi cele unde ea este vecină lui a, adică între densitatea punctelor lui Picard şi mulţimea punctelor lui Weierstrass. S-a introdus de asemenea noţiunea de *defect* care măsoară cu fineţe rarefierea zerourilor lui $f(z)-a$. Defectul este egal cu 1 pentru valorile excepţionale ale lui Picard. În general, suma tuturor defectelor posibile nu poate depăşi 2, iar mulţimea valorilor al căror defect nu este nul este finită sau numărabilă. Se cunosc funcţii care au un număr finit arbitrar de valori excepţionale ale lui Nevanlinna, dar nu o infinitate.

Expresiile introduse de Nevanlinna au devenit mai lesne de mînuit înlocuind distanţa rectilinie a planului complex prin distanţa sferică pe sfera lui Riemann (Dufresnoy, Baganas). Noua formă obţinută este legată de aria suprafeţei acoperită pe sferă de către imaginile lui $f(z)$ corespunzînd punctelor cercului $|z| \leqslant r$ (Shimizu). L. Ahlfors a reluat acest studiu examinînd structura suprafeţei lui Riemann pe sferă, pe care o numeşte *suprafaţă de acoperire:* teorie cu bază topologică asociată unei metrici, în care rezultatele lui R. Nevanlinna se prezintă drept cazuri particulare ale celor obţinute de Ahlfors. Studiul creşterii a fost precizat de cel al ordinului de creştere într-un unghi sau pe o semidreaptă. Acest studiu a condus la o *indicatrice* ce se leagă de poligoanele de sumabilitate ale lui Borel ale unei funcţii asociate, convenabil aleasă.

Aceste probleme sînt legate de existenţa *valorilor asimptotice.* Orice valoare excepţională a lui Borel, ca şi cea a lui Picard, este o valoare asimptotică. Nu se ştie dacă este la fel şi pentru valorile lui Nevanlinna. A. Denjoy a afirmat că numărul maxim de valori asimptotice ale unei funcţii de gen p este $2p+1$. Această afirmaţie a fost demonstrată de L. Ahlfors.

Pentru o funcţie de ordin infinit mulţimea valorilor asimptotice poate fi infinită; ea poate avea puterea continuului şi să cuprindă toate valorile planului complex.

FAMILII NORMALE. Studiul familiilor de funcţii se continuă de peste o jumătate de secol. O mulţime mărginită infinită de puncte admite totdeauna un punct de acumulare, şi această proprietate, stabilită de Cantor, se găseşte la baza demonstraţiilor unui mare număr de proprietăţi ale funcţiilor de puncte. O mulţime infinită de funcţii nu admite neapărat o funcţie de acumulare: existenţa sa ar uşura demonstraţiile calculului funcţional ale cărui elemente sînt linii sau suprafeţe.

Pentru a satisface această necesitate, P. Montel a creat în 1912 teoria familiilor normale, prelungind cercetările lui Ascoli şi Arzelá asupra egalei continuităţi sau studiile directe ale lui Arzelá, Hilbert şi Lebesgue asupra problemelor lui Dirichlet şi Plateau. Această teorie a fost creată pentru a obţine criterii care să permită să se afirme că orice şir infinit de funcţii ale unei familii admite o funcţie de acumulare prin convergenţă uniformă: o astfel de familie se numeşte *normală.* Teoria s-a dovedit fecundă în afara calculului funcţional care i-a dat naştere, deoarece funcţiile unei familii normale sînt unite printr-o solidaritate care se traduce prin proprietăţi comune, în particular pentru funcţiile de variabile complexe. Teoreme de analiză, deduse din ipoteze particulare, decurg în realitate numai din noţiunea de *normalitate.*

Normalitatea este o proprietate locală. Dacă ea are loc într-un domeniu, ea are loc evident în fiecare punct, adică într-un mic cerc ce conţine acest punct în interiorul său şi reciproc. Deci, dacă o familie nu este normală într-un domeniu, acesta conţine puncte în care ea nu este normală. Un astfel de punct se numeşte *neregulat,* şi are caracterul unui punct singular colectiv. M. Ostrowski i-a dedicat un studiu aprofundat iar W. Saxer, S. Mandelbrojt, G. Julia, H. Cartan şi Thullen au studiat structura mulţimii acestor puncte şi legăturile ei cu mulţimea punctelor singulare ale unei funcţii unice.

Primele familii studiate au fost cele ale funcţiilor mărginite în totalitatea lor, ale funcţiilor cu spaţii sau cu linii lacunare, ale funcţiilor cu trei valori excepţionale. Această ultimă familie are proprietăţi clasice bazate pe teoremele lui Picard, Landau şi Schottky care formează ciclul lui Picard. Orice familie normală de funcţii de o variabilă complexă dă naştere unui ciclu analog.

Ciclul lui Picard conduce la o clasificare a funcţiilor analitice regulate: funcţii fără valoare excepţională; funcţii care admit o valoare excepţională (funcţiile olomorfe); funcţii cu două valori excepţionale (funcţii olomorfe cu logaritm olomorf); funcţii cu trei valori excepţionale care formează o familie normală.

Hess a demonstrat că orice familie de funcţii regulate este suma unui număr finit sau numărabil de familii normale.

Caratheodory, folosind sfera lui Riemann, a introdus egala continuitate sferică şi *convergenţa continuă*, iar F. Marty a obţinut un criteriu de normalitate limitînd derivata sferică. P. Montel a înlocuit valorile excepţionale printr-o curbă algebrică cu trei ramuri distincte care nu au nici un punct comun cu funcţiile familiei. De asemenea, el a înlocuit spaţiul lacunar printr-o limitare a ariei acoperite pe sfera lui Riemann.

Un alt grup de cercetări se referă la rolul valorilor excepţionale ale unei funcţii şi ale uneia dintre derivatele sale sau ale unei combinaţii a funcţiei şi derivatelor sale, din care se deduc criterii de normalitate. Aceste cercetări sînt datorate lui F. Bureau, Miranda, Valiron, Milloux, Hiong, Chi-Tai-Chuang, W. K. Hayman.

P. Montel a introdus de asemenea familiile *cvasinormale de ordin p*, care admit cel mult p puncte neregulate şi a arătat că funcţiile univalente sau multivalente de ordin limitat formează astfel de familii. Afirmaţia este valabilă şi pentru funcţiile ce întîlnesc de un număr limitat de ori o curbă algebrică sau care acoperă de un număr limitat de ori sfera lui Riemann. W. Saxer a studiat punctele lor neregulate.

Una dintre primele aplicaţii ale teoriei s-a referit la convergenţa unui şir de funcţii ale familiei, care este uniformă îndată ce şirul converge într-o infinitate de puncte complet interioare domeniului. S-au regăsit astfel teoremele lui Vitali, Landau şi Caratheodory. Hartogs şi Rosenthal au studiat mulţimea punctelor neregulate în convergenţă simplă. O altă aplicaţie priveşte iteraţia şi a permis trecerea de la studiul local, datorat în special de G. Koenigs şi Leau, la studiul global efectuat de Fatou, Lattès şi Julia.

În sfîrşit, o importantă aplicaţie a permis studiul argumentelor zerourilor funcţiilor întregi sau meromorfe în plan cu ajutorul metodei descompunerii în bucăţi a lui Montel care înlocuieşte funcţia studiată printr-un şir de funcţii. G. Julia a arătat că există drepte de acumulare J, pentru cele care unesc un punct fix cu zerourile funcţiei, iar Ostrowski a demonstrat existenţa lor pentru orice funcţie meromorfă diferită de anumite funcţii de ordin nul. Alte lucrări se datoresc lui W. Saxel şi G. Pólya. Biernacki a studiat existenţa dreptelor J comune unei funcţii întregi, derivatelor şi primitivelor sale. Milloux a obţinut acelaşi rezultat pentru dreptele analoage ale lui Borel-Valiron.

Au fost studiate şi familiile normale de funcţii de mai multe variabile complexe. Ele au condus la o teoremă fundamentală a lui Cacciopoli după care normalitatea faţă de fiecare variabilă atrage normalitatea pentru mulţimea acestor variabile.

În fine, P. Montel a introdus *familiile normale complexe* ale căror elemente sînt sisteme de p funcţii analitice, utile în studiul funcţiilor algebroide. Printre autorii studiilor asupra acestor probleme trebuie citaţi Remoundos, Varopoulos, Ghermănescu şi, în particular, A. Bloch, H. Cartan, Dufresnoy şi N. Baganas.

REPREZENTAREA FUNCŢIILOR ANALITICE. Seria lui Taylor permite reprezentarea unei funcţii analitice în oricare dintre punctele sale regulate cu excepţia polilor. Dezvoltarea este convergentă în interiorul cercului de convergenţă care este în general un cerc de tăietură ale cărui puncte sînt toate singulare şi din care se poate uneori evada, după cum a demonstrat É. Borel. Seria lui Laurent face acelaşi serviciu într-un inel circular.

Determinarea punctelor singulare pe cercul de convergenţă a fost studiată de J. Hadamard şi S. Mandelbrojt. Ultimul s-a ocupat de seriile cu *structură lacunară*, care conţin o infinitate de grupuri cu coeficienţi nuli. În acest caz apare fenomenul de *ultraconvergenţă*, caracterizat prin aceea că un şir infinit parţial extras din şir este convergent în exteriorul cercului de convergenţă. Acest fenomen a fost studiat de Bourion, Ostrowski, Jentzch, Szegö, Carlson, iar, pentru alte dezvoltări (seriile lui Faber, ale facultăţilor, ale lui Dirichlet etc.), de Bourion, Vl. Bernstein, Y. Martin, Lösch.

Coeficienţii seriei lui Taylor relativ la un punct necesită intervenţia valorilor funcţiei şi a derivatelor sale în acest punct. Goncearov s-a ocupat de cazul în care aceste valori sînt date în puncte vecine a căror infinitate admite un punct de acumulare.

Reprezentarea prin serii de polinoame a făcut obiectul a numeroase cercetări. H. Delange a examinat raporturile domeniului de convergenţă cu mulţimea zerourilor polinoamelor folosite. Trebuie citate cazurile seriilor de polinoame ale lui Faber sau Cebîşev.

Reprezentarea cu ajutorul fracţiilor continue, şi în special a fracţiilor lui Stieltjes, sau a lanţurilor lui Jacobi, a constituit obiectul studiilor lui Van Vleck, Pringsheim, Perron etc.

Painlevé a studiat reprezentarea funcţiilor în domenii ce posedă linii singulare care nu împart planul prin intermediul seriilor, iar Poincaré a dat reprezentări analitice ale funcţiilor cu spaţii lacunare.

O altă reprezentare importantă a funcţiilor analitice este furnizată de *seria lui Dirichlet* de forma $\sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{-\lambda_n s}$, unde λ_n este un număr real, a_n este un coeficient real sau complex, iar s variabila. Cazul $\lambda_n = n$ dă seria lui Taylor cu schimbarea de variabilă $e^{-s} = z$. Cazul $\lambda_n = \log n$ şi $a_n = 1$ dă funcţia $\zeta(s)$ a lui Riemann. Domeniul de convergenţă este un semiplan limitat la stînga de o dreaptă paralelă la axa imaginară a coordonatelor, numită *dreapta de convergenţă*. Se deosebesc dreapta de convergenţă uniformă, cea de convergenţă absolut şi cea de olomorfie. Fenomenul de ultraconvergenţă se prezintă aici sub diferite aspecte. Seria lui Dirichlet, care participă la cea a lui Fourier şi la cea a lui Taylor, a fost studiată de Hadamard, Mandelbrojt, Landau, H. Bohr, Ostrowski, Vl. Bernstein, Pólya.

Mandelbrojt a introdus în 1942 pentru seriile lui Dirichlet divergente noţiunea de *aderenţă* care este legată de depărtarea maximă în semiplanul la dreapta absciscei x, adică de maximul modulului maxim al diferenţei între funcţie şi suma primilor n termeni ai seriei cînd n variază de la 1 la $+\infty$. Această noţiune, care a adus mari servicii în numeroase teorii, a fost folosită de L. Schwartz, Turan, Sunyer i Balaguer. Cazul în care exponenţii λ_n au valori complexe a fost studiat de Leontiev, Kabane, Agmon.

FAMILII PARTICULARE DE FUNCŢII. Studiul mulţimilor de funcţii analitice a condus la gruparea lor în familii unite prin proprietăţi comune şi la deducerea consecinţelor acestei solidarităţi.

Una dintre aceste proprietăţi, univalenţa sau multivalenţa de ordin dat, joacă un rol important. Se introduc de asemenea întinderea şi forma domeniului (D) acoperit de valorile funcţiei $f(z)$, care poate fi convex, stelat sau spiralat. Funcţiile univalente într-un domeniu formează o familie cvasinormală de ordin *unu*. Funcţiile multivalente de ordin p formează o familie cvasinormală de ordin p (P. Montel).

S-a studiat îndelungat familia F a funcţiilor $f(z)$ olomorfe în cercul unitate şi pentru care $f(0)=0$, $f'(0)=1$, adică a căror dezvoltare în serie Taylor în jurul originei începe cu termenul z. Cazul polinoamelor acestei familii a constituit obiectul cercetărilor lui Dieudonné, Rogosinski, Szegö, Biernacki, Kakeya.

Modulul de univalenţă este raza celui mai mare cerc desfăşurat în (D), adică obţinut prin reprezentarea conformă a unei regiuni a cercului unitate. A. Bloch a stabilit o propoziţie importantă, anume că pentru orice funcţie din familia F, acest modul are un minim pozitiv numit *constanta lui Bloch*, şi a cărui valoare exactă nu este cunoscută. Această teoremă permite o demonstraţie simplă a teoremei lui Picard. Valiron a continuat acest studiu, iar extinderea la funcţiile p-valente se datoreşte lui Fekete şi Montel.

O funcţie univalentă a lui F acoperă un cerc fix cu centrul în origine. Limitele inferioare şi superioare ale lui $|f(z)|$, $|f'(z)|$, arg $|f(z)|$ sînt funcţii cunoscute de $|z|$ (Faber, Bieberbach, R. Nevanlinna, Koebe, Kössler, Fejer, Riesz, Ostrowski). Coeficientul lui z^2 are un modul inferior sau egal cu 2; cel al lui z^3 are un modul inferior sau egal cu 3 (K. Löwner); cel al lui z^4 are un modul inferior sau egal cu 4 (Garabedian-Schiffer). Se presupune că cel al lui z^n are un modul inferior sau egal cu n, dar nu s-a putut demonstra aceasta decît în cazuri speciale (R. Nevanlinna, Dieudonné, Rogosinski, Hayman, Spacek). Raza celui mai mare cerc acoperit a fost căutată de Reinhardt şi Landau. Pentru funcţiile meromorfe există o alternativă între interiorul unui cerc şi exteriorul unui cerc asociat (Montel, Marty, Bieberbach). Există un *nucleu de convexitate*, adică un cerc cu centrul în origine reprezentat pe un domeniu convex; există de asemenea un *nucleu de stelare* şi un *nucleu pentru un domeniu spiralat*. Aceste nuclee au fost determinate prin lucrările lui Faber, Bieberbach, Marty, A. Marx, H. Gröch, Szegö, Spacek, Dieudonné. S-a studiat de asemenea *nucleul* *de univalenţă* al funcţiilor din F mărginite, *nucleul de stelare* şi nucleele de multivalenţă de ordin dat (Landau, Dieudonné) precum şi *nucleul de univalenţă* pentru $f(0) = a_0$, $f'(0) = a_1$. Sistemele univalente de funcţii de mai multe variabile au fost şi ele studiate de H. Cartan şi P. Thullen.

PERIODICITATE. Funcţiile simplu sau dublu periodice au constituit în secolul trecut obiectul unor cercetări considerabile, la care sînt asociate numele lui Abel, Jacobi, Weierstrass, Poincaré.

Teorema lui Jacobi asupra imposibilităţii existenţei unei funcţii analitice care să aibă trei perioade independente a fost extinsă de P. Montel prin înlocuirea anulării primei diferenţe, care traduce periodicitatea, prin anularea unei diferenţe de ordin superior unităţii, şi prin studierea cazului unei funcţii de mai multe variabile: atunci se obţin polinoame. Cazul variabilelor reale a fost studiat de Th. Angheluţă şi T. Popoviciu.

Funcţiile meromorfe în plan şi dublu periodice, sau *funcţiile eliptice*, al căror ordin este cel al multivalenţei lor în paralelogramul perioadelor, joacă un rol fundamental în uniformizarea relaţiilor algebrice de gen unu.

Ele au o teoremă de aditivitate algebrică, după care valorile funcţiei corespunzătoare la trei valori ale variabilei, dintre care una este suma celorlaltor două, sînt legate printr-o relaţie algebrică obţinută prin egalarea cu zero a unui polinom ale cărui variabile sînt cele trei valori. Reciproc, existenţa unei astfel de relaţii caracterizează fie o funcţie algebrică, fie o funcţie algebrică a exponenţialei, fie o funcţie eliptică. Acest rezultat a fost extins la funcţii de o variabilă reală de către P. Montel şi la cazul în care cele trei valori sînt furnizate de trei funcţii diferite, de către F. Bruhat, H. Cartan, R. Meynieux.

Aplicaţiile funcţiilor eliptice la teoria numerelor, la geometrie şi la mecanică n-au pierdut nimic din importanţa lor.

O generalizare genială a funcţiilor dublu periodice a fost descoperită de Poincaré prin crearea *funcţiilor fuchsiene şi kleineene*, numite şi *funcţii automorfe* (1881). Translaţiile corespunzătoare perioadelor sînt înlocuite prin transformări datorite unor funcţii omografice cu coeficienţi constanţi, care formează un grup ca şi translaţiile. Paralelogramul fundamental format de cele două perioade devine un poligon limitat de arce de cerc.

Funcţiile automorfe fac, pentru relaţiile algebrice de două variabile de gen superior lui unu, acelaşi serviciu ca şi funcţiile raţionale în cazul genului 0 sau funcţiile eliptice în cazul genului 1. Ele permit uniformizarea, adică reprezentarea parametrică a fiecărei variabile printr-o funcţie uniformă automorfă. Se obţine astfel un cuplu de funcţii uniformizante. É. Picard şi apoi P. Montel au studiat aceste cupluri de funcţii şi le-au determinat raza de regularitate.

Funcţiile automorfe au constituit obiectul a numeroase lucrări, efectuate în special de P. Fatou, G. Giraud, P. J. Myrberg, care s-a ocupat şi de funcţiile automorfe de mai multe variabile. Studiul acestora din urmă a fost aprofundat recent de C. L. Siegel şi şcoala sa (M. Köcher, Satake, Baily) în legătură cu teoria modernă a grupurilor clasice. É. Picard şi G. Humbert au creat funcţiile hiperabeliene şi hiperfuchsiene.

Printre substituţiile care intervin în funcţiile automorfe figurează puterile întregi ale fiecărei funcţii omografice de bază. Dacă se înlocuieşte această funcţie omografică printr-o fracţie raţională de grad superior primului, se obţine o *iteraţie* generală. Cazul fracţiilor raţionale cu termeni înlănţuiţi, ai căror zerouri şi poli sînt reali şi încrucişaţi, are proprietăţi apropiate de cele ale funcţiei omografice. S-a studiat şi cazul în care funcţia de bază este o funcţie întreagă sau o funcţie definită în semiplanul superior şi ale cărei valori aparţin acestui semiplan.

Iteraţia a fost studiată din punct de vedere local de G. Koenigs, Leau, Grévy, iar din punct de vedere global, din iniţiativa lui P. Fatou, de G. Julia, S. Lattès, Myrberg. O altă generalizare a funcţiilor periodice a fost descoperită de H. Bohr: *funcţiile aproape periodice.*

Pentru o funcţie periodică de variabilă reală şi de perioadă ω, orice segment al axei reale de lungime superioară sau egală lui ω conţine cel puţin o perioadă; pentru o funcţie aproape periodică, fiecărui număr ε, oricît de mic, îi corespunde o lungime care depinde de el, astfel încît orice segment de această lungime conţine o cvasiperioadă, adică valorile funcţiei în două puncte a căror distanţă este o cvasiperioadă, fără a fi egale, diferă cel mult cu ε.

O astfel de funcţie este reprezentabilă printr-o serie a lui Fourier formată din funcţii trigonometrice sau exponenţiale. Dacă seria se reduce la un număr limitat de termeni, avem funcţiile *cvasiperiodice* studiate de P. Bohl şi E. Esclangon. Alte lucrări sînt datorate, în special pentru funcţiile dublu aproape periodice, lui Jensen, H. Tornehave, R. Petersen.

Seriile al căror termen general este reprezentat de o exponenţială cu un exponent liniar faţă de variabila reală sau complexă sînt *seriile lui Dirichlet* care au fost amintite mai înainte. Studiul lor are ca origine una dintre ele care defineşte funcţia $\zeta(s)$ a lui Riemann, ce joacă un rol important în cercetarea distribuţiei numerelor prime. Ele au condus la numeroase lucrări continuate în special în două direcţii: cel al legăturilor lor cu funcţiile aproape periodice şi cel al condiţiilor de convergenţă şi al naturii funcţiei reprezentate.

FUNCŢII MULTIFORME. În secolul trecut teoria funcţiilor multiforme a constituit obiectul a numeroase şi importante studii datorate lui Abel, Jacobi, Riemann şi, mai recent, lui H. Poincaré şi É. Picard.

De la începutul acestui secol, studiul suprafeţelor lui Riemann, introduse pentru uniformizarea funcţiilor multiforme şi a integralelor lor, a condus la cercetări profunde şi fertile. Diferite proprietăţi ale acestor suprafeţe ţin de topologie, proprietăţi calitative atrăgînd trăsături determinate ale funcţiilor care le corespund, stabilind astfel baza topologică a funcţiilor analitice. Însăşi noţiunea de suprafaţă a lui Riemann a fost definită cu rigurozitate şi în toată generalitatea cu ajutorul spaţiilor abstracte şi al varietăţilor topologice, datorită lucrărilor lui H. Weyl, T. Radó, J. Brouwer.

Existenţa funcţiilor corespunzătoare unei suprafeţe a lui Riemann dată a fost studiată de Courant şi P. Fatou. Studiul tipurilor de suprafaţe topologice distincte şi clasificarea lor au fost efectuate de C. Jordan şi B. de Kerekjarto.

Importante cercetări de ansamblu se datoresc lui S. Stoilow, care a introdus noţiunea de transformare interioară, lui L. Ahlfors, care a utilizat suprafeţe de acoperire şi lui Lavrentiev, care a folosit funcţii aproape analitice. Astfel s-a cercetat cu precizie trecerea de la teoria topologică la teoria clasică a funcţiilor analitice. Mai recent, un studiu aprofundat al tipurilor de suprafeţe a lui Riemann, în legătură cu teoria funcţiilor armonice, a fost efectuat în special de R. Nevanlinna, Ahlfors, L. Sario şi de numeroşi matematicieni japonezi.

Printre clasele particulare de funcţii analitice, funcţiile algebrice stau la baza unor lucrări foarte numeroase. Acestea sînt funcţii legate de variabilă prin ecuaţia obţinută din egalarea cu zero a unui polinom, de două variabile. Noi le-am întîlnit în legătură cu funcţiile eliptice sau automorfe. Studiul lor direct a fost iniţiat de Puiseux şi Hermite şi a fost continuat de P. Appell, J. Tannery, J. Molk, Cousin.

În ecuaţia de definiţie a unei funcţii algebrice, coeficienţii diverselor puteri ale funcţiei sînt polinoame ale variabilei. În cazul în care acestea sînt funcţii transcendente sau regulate în domeniul de definiţie al funcţiei, aceasta se numeşte o *algebroidă* (H. Poincaré), a cărei ordin este gradul polinomului în raport cu funcţia.

Painlevé şi Remoundos au extins asupra algebroidelor teorema lui Picard asupra valorilor excepţionale: o algebroidă de ordin m poate admite cel mult $2m$ valori excepţionale. Dacă se observă că o valoare excepţională defineşte o combinaţie excepţională de coeficienţi ai ecuaţiei, adică o combinaţie liniară cu coeficienţi constanţi care nu este niciodată nulă, se vede că această problemă este strîns legată de teoria combinaţiilor excepţionale şi a familiilor complexe a lui P. Montel.

J. Dufresnoy, folosind distanţa sferică în spaţiul proiectiv, a stabilit normalitatea familiilor complexe de ordin m care admit $2m + 1$ combinaţii excepţionale. Cu o nouă definiţie a distanţei, N. Baganas a introdus combinaţiile liniare de funcţii algebrice şi a adăugat la valorile excepţionale punctele de întîlnire cu o curbă algebrică care are $2m + 1$ ramuri distincte.

Un alt punct de vedere relativ la studiul funcţiilor de variabilă complexă se datoreşte lui P. Painlevé. Funcţiile se grupează în regiuni de regularitate; ele se deosebesc şi se caracterizează, ca şi fiinţele vii, prin singularităţile lor. Painlevé ia ca punct de plecare o ecuaţie diferenţială verificată de funcţia analitică şi îşi propune să determine punctele critice, fixe sau mobile, ale soluţiilor acestei ecuaţii. Pornind de la celula iniţială definită de valorile într-un punct iniţial ale funcţiei şi de un număr suficient dintre derivatele sale, el reconstituie entitatea matematică care asigură înmulţirea celulelor prin prelungirea lor analitică.

FUNCŢII DE MAI MULTE VARIABILE. Studiul funcţiilor de mai multe variabile complexe a oferit matematicienilor dificultăţi noi, iar analogia cu cazul unei singure variabile s-a dovedit adesea înşelătoare.

Studiul general şi extinderea ideilor fundamentale ale lui Cauchy, de integrală şi de reziduu, au fost începute încă din 1888 de H. Poincaré şi É. Picard. În 1897, Hurwitz a arătat că nici un punct singular nu poate să fie izolat. Imediat cercetările s-au multiplicat prin lucrările lui Valiron, Osgood, Levi-Civitá, Hartogs,

E. E. Levi, Kistler şi Behnke în primul deceniu al secolului nostru, urmaţi în cel de-al doilea deceniu de Reinhardt, B. Almen, Blaschke, şi, în cel de-al treilea, de către H. Cartan, Bergmann, Welke, Caratheodory, Segre, Thullen, Severi, Eisenhardt, Kommerell, Kwietniewski. Studiul colectiv al funcţiilor a declanşat cercetările lui Caratheodory şi Cacciopoli.

Caracterizarea domeniilor de olomorfie a dat loc cercetărilor lui Behnke, H. Cartan, Thullen, K. Oka, Lelong. Problema lui Cousin privind determinarea unei funcţii prin cunoaşterea multiplicităţii polilor săi a fost studiată de A. Weil şi Oka. Studiul structurilor şi utilizarea metodelor topologice au condus în particular la lucrările lui H. Cartan, Serre, K. Stein, Grauert, Remmert.

Teoria funcţiilor algebrice de mai multe variabile a condus la lucrările a numeroşi cercetători, dintre care primii au fost É. Picard, G. Humbert şi Cousin, şi apoi Castelnuovo, F. Enriques, B. Segre, F. Severi în Italia, L. Godeaux în Belgia, R. Garnier şi H. Dulac în Franţa.

Astfel, progresele teoriei funcţiilor de variabile complexe din cursul acestui secol, au condus la un studiu aprofundat al distribuţiei şi al naturii singularităţilor lor, al repartizării valorilor lor regulate şi al imaginilor reprezentărilor lor, al grupării lor în familii unite prin caractere comune.

Această dezvoltare autonomă a fost suficient de amplă pentru a necesita ţinerea unor colocvii specializate şi crearea unor publicaţii ca cea a Colecţiei de monografii asupra teoriei funcţiilor a lui É. Borel.

CAPITOLUL V

Ecuaţii diferenţiale şi ecuaţii cu derivate parţiale

În teoria ecuaţiilor diferenţiale şi în cea a ecuaţiilor cu derivate parţiale au intervenit două ştiinţe „aproape distincte“, analiza variabilelor reale şi analiza variabilelor complexe. Punctele lor de vedere pot fi deosebite, dar sprijinul lor reciproc iese cu atît mai mult în evidenţă.

A. ECUAŢII DIFERENŢIALE

TEORIA ANALITICĂ. Teoria ecuaţiilor diferenţiale în domeniul *complex* se prezintă ca o urmare naturală a marii teorii creată în secolul al XIX-lea de Cauchy, Weierstrass şi elevii lor. Mai întîi a fost geniul lui Poincaré, cel care a extins considerabil cîmpul analizei variabilelor complexe, prin crearea funcţiilor fuchsiene sau *automorfe* (vezi. p. 61), datorită acestor funcţii, problema integrării ecuaţiilor diferenţiale liniare cu coeficienţi algebrici poate fi considerată ca rezolvată.

Studiul general al singularităţilor funcţiilor analitice l-a condus apoi pe P. Painlevé să obţină pentru întreaga teorie progrese considerabile: încă din 1887 el a stabilit faptul esenţial că singularităţile mobile (care depind de o constantă de integrare) ale ecuaţiilor diferenţiale algebrice de ordinul întîi nu pot fi decît algebrice; din contră, exemple foarte simple arată că o ecuaţie diferenţială algebrică de ordinul doi poate avea puncte singulare transcendente mobile (de la ordinul trei în sus aceste puncte pot forma chiar linii). Într-o serie de lucrări celebre, Painlevé a pus bazele *teoriei analitice* a ecuaţiilor diferenţiale şi a obţinut în special ecuaţii diferenţiale algebrice de ordin doi care se integrează prin intermediul unor funcţii transcendente cu totul noi: vom cita numai celebra ecuaţie $y'' = 6y^2 + x$, a cărei integrală generală este o transcendentă meromorfă, ireductibilă la funcţii cunoscute mai înainte.

Opera lui Painlevé a fost completată în special de P. Boutroux (creşterea soluţiilor la infinit), B. Gambier (formarea anumitor ecuaţii de gradul doi cu puncte critice fixe), J. Chazy (ecuaţii de ordinul trei şi de ordin superior), R. Garnier (sisteme diferenţiale de ordin par cu puncte critice fixe), Malmquist, Pólya, Valiron.

Ecuaţiile cu puncte critice fixe joacă un rol important în determinarea *integralelor prime* ale sistemelor diferenţiale. Painlevé a putut astfel să precizeze rezultatele obţinute de

Poincaré asupra sistemului diferențial la care conduce problema de mecanică cerească a celor n corpuri: condițiile pentru ca cel puțin două dintre cele n corpuri să se întîlnească după un timp finit nu se pot exprima prin relații în care vitezele să figureze *algebric*.

Astronomii secolului al XIX-lea au încercat să reprezinte soluția problemei a trei corpuri prin dezvoltări în serii trigonometrice, a căror *divergență* a fost demonstrată de Poincaré. În 1912, astronomul Sundman a obținut soluția generală *cantitativă* a problemei, exprimînd cele nouă coordonate carteziene și timpul ca funcții olomorfe de o variabilă, cu o condiție foarte simplă; expresiile analitice au permis chiar, ca în cazul întîlnirii a două corpuri, să se definească o *prelungire analitică* a mișcării. Aceste probleme au făcut recent obiectul unor importante cercetări ale lui C.-L. Siegel.

Lucrînd la acest gen de probleme într-o altă direcție, Painlevé a putut să semnaleze clase foarte largi de ecuații diferențiale *analitice* care admit în *cîmpul real* o adevărată integrare cantitativă. S-a stabilit că cea mai mare parte a acestor rezultate se pot extinde prin metoda lui Cauchy-Lipschitz la sisteme *neanalitice*. Este important de subliniat în legătură cu acest subiect că studiul prealabil aprofundat al cazului analitic a fost cel care a atras atenția asupra anumitor singularități interesante care scăpaseră pînă atunci geometrilor.

Dezvoltările divergente, puse în evidență de Poincaré (în legătură cu problemele fundamentale ale mecanicii cerești, sau mai general ale dinamicii analitice, de exemplu de ecuația simplă $x'' + k^2x = \mu f(x, t)$, unde f este periodică în t; k este fix, iar μ un parametru mic), l-au condus la noțiunea de *dezvoltare asimptotică*.

Se scrie: $f(t) \sim c_0 + c_1t^{-1} + \ldots + c_nt^{-n} + \ldots$ cînd $t \to +\infty$

dacă

$$t^k(f(t) - c_0 - c_1t^{-1} - \ldots - c_kt^{-k}) \to 0 \text{ cînd } t \to +\infty$$

oricare ar fi k întreg pozitiv.

Această noțiune s-a dovedit mai tîrziu deosebit de folositoare în studiul ecuațiilor diferențiale liniare cu coeficienți analitici și al singularităților lor.

VARIABILE REALE. Oricare ar fi importanța teoriei analitice a ecuațiilor diferențiale, ea este insuficientă și chiar, într-un anumit sens, ea nu răspunde nici la cele mai imediate probleme ce se pot ridica. Dacă în ecuația $dy/dx = f(x,y)$ funcția f dată de cele două variabile reale x și y este presupusă numai continuă într-un domeniu ce conține punctul (x_0, y_0), nu se poate demonstra existența soluțiilor care iau pentru x_0 valoarea y_0? Aceasta a fost făcută de Peano și Arzelá (1890) și de P. Montel prin folosirea directă a liniilor poligonale ale lui Cauchy (1907). În general există mai multe soluții. Dacă se adaugă o condiție simplă, ca cea a lui Lipschitz, este asigurată și unicitatea soluției.

Metoda de iterație a lui É. Picard (1890), sau metoda *aproximațiilor succesive*, a adus de asemenea mari servicii în acest domeniu, în care se presupun în mod esențial variabilele reale și în care nu se fac decît ipoteze generale de continuitate și de derivabilitate pentru funcțiile introduse.

Toate aceste metode au în vedere integrarea *cantitativă* și, prin însăși natura lucrurilor, utilizarea lor devine complicată îndată ce se încearcă extinderea domeniului în care se studiază funcțiile căutate. Poincaré a fost primul care a abordat (1880—1885) studiul general *calitativ* al curbelor-soluţii în tot domeniul lor de existenţă, problemă deja dificilă cînd ne limităm la ecuaţia

$$\mathrm{d}y/\mathrm{d}x = f(x,\ y) \tag{1}$$

în care f este o funcţie *raţională* reală dată de variabilele reale x şi y. El a clasat mai întîi singularităţile obişnuite: puncte şea, noduri, focare, sau chiar centre. A stabilit o relaţie între numerele acestor puncte, relaţie care prezintă o mare analogie cu cea care există între numerele muchiilor, vîrfurilor şi feţelor unui poliedru şi care, dacă se trece la ecuaţii algebrice generale $F(x,y,y') = 0$, face să intervină un caracter de „geometrie de poziţie“[1], *genul* unei anumite suprafeţe. În cazul ecuaţiei (1) el a arătat importanţa curbelor-soluţii *închise* sau cicluri, în timp ce celelalte curbe-soluţii (cu excepţia celor care conduc la puncte singulare) se înfăşoară în jurul „ciclurilor limită“ ca şi spiralele, reprezentînd, cu alte cuvinte, soluţii *periodice* însoţite de soluţii *asimptotice*. Se poate vedea în aceste lucrări interesul constant al lui Poincaré pentru studiul soluţiilor periodice, ca în exemplul frumoasei probleme a celor trei corpuri (în care se întîlnesc aproape toate dificultăţile problemei generale a ecuaţiei diferenţiale).

Acestor preocupări li se alătură celebrul memoriu al lui J. Hadamard (1898) asupra geodezicelor suprafeţelor cu curburi opuse, în care sînt puse în evidenţă rolul condiţiilor *topologice* generale şi importanţa geodezicelor închise. Un interes special s-a dat genului 1 (torul). Se poate întîmpla să nu existe nici un punct singular al ecuaţiei diferenţiale. Fie ecuaţia $\mathrm{d}y/\mathrm{d}x = f(x,\ y)$ în care f admite perioada 2π atît faţă de x cît şi faţă de y şi să presupunem că această funcţie este mereu finită, astfel că de-a lungul unei curbe-soluţie x variază tot timpul în acelaşi sens. Dacă f se reduce la o constantă a, se prezintă două cazuri, după cum a este raţional sau nu: în primul caz orice curbă-soluţie se închide, în timp ce în al doilea curba nu se închide niciodată, dar trece oricît de aproape vrem de orice punct. Presupunînd acum că f este analitică (sau chiar numai derivabilă), Poincaré şi-a pus întrebarea dacă nu cumva „consecutivele succesive“ ale unui punct de plecare pot forma o mulţime „perfectă discontinuă“. După o frumoasă demonstraţie a lui A. Denjoy (1932), acest lucru nu este posibil; în schimb, el ar fi posibil pentru anumite funcţii f cu totul excepţionale care nu au proprietăţile de regularitate indicate.

Poincaré ajunsese spre sfîrşitul vieţii sale, în urma studiului soluţiilor periodice ale problemei „restrînse“ a celor trei corpuri, la o chestiune particulară de *topologie:* dacă avem o soluţie periodică care are cei doi „exponenţi caracteristici“ pur imaginari, se poate deduce o infinitate de alte soluţii periodice, dar aceasta numai cu condiţia valabilităţii unei anumite teoreme relative la transformările punctuale, cu invariant integral pozitiv, ale unei coroane circulare în ea însăşi. Demonstraţia, pe care Poincaré regreta că nu a putut s-o dea, a fost realizată după cîteva luni de G. D. Birkhoff (1913), care, împreună cu şcoala sa, a dezvoltat apoi mult aceste probleme în cadrul teoriei generale a „sistemelor dinamice“.

Începînd aproximativ din anul 1920, în legătură cu anumite fenomene de oscilaţii electrice (triode), ecuaţia diferenţială $x'' + x'f(x)+k^2x = 0$ (sau $v\mathrm{d}v + (vf(x) + k^2x)\mathrm{d}x = 0$) a atras atenţia unui public numeros asupra problemei

---

[1] *Analysis situs* la Poincaré; topologie în terminologia actuală.

„ciclurilor" lui Poincaré şi asupra problemelor conexe: „oscilaţiile de relaxare" au constituit obiectul a numeroase studii (Van der Pol, 1924 sq; É. şi H. Cartan; Liénard; A.A. Andronov) şi expuneri de ansamblu (Andronov şi Şaikin, 1937; Minorsky; Haag; Sansone şi Conti; Lefschetz, 1959).

COMPLEMENTE. Studiul în cîmpul complex, în jurul lui 0, al soluţiilor unui sistem diferenţial,

$$\frac{dx_1}{X_1} = \frac{dx_2}{X_2} = \dots = \frac{dx_n}{X_n}$$

în care X sînt toţi nuli în 0 şi olomorfi în vecinătatea acestui punct, început de Poincaré şi Picard, a fost continuat în special de Bendixson, Boutroux, Chazy, Dulac, Garnier, Malmquist...

Studiul analog în cîmpul real a condus la importante lucrări ale lui Liapunov (1892), Hadamard, Painlevé, Cotton etc. Diferitele semnificaţii ale cuvintelor de *stabilitate* şi *instabilitate* au fost precizate de G. D. Birkhoff (1927).

Mărginindu-se la sistemele de ecuaţii generale ale dinamicii (sau, dacă vreţi, la „calculul variaţiilor"), Poincaré a obţinut rezultate importante graţie existenţei *invariantului integral*, esenţial pozitiv, al acestui sistem. El a pus astfel în evidenţă „stabilitatea de tipul lui Poisson" (revenirea de o infinitate de ori, oricît de aproape vrem de poziţia iniţială).

Aplicînd această teorie a invarianţilor integrali şi prin extinderea teoriei calitative a lui Poincaré asupra sistemelor diferenţiale, considerînd, pe de altă parte, ca Sundman, soluţia problemei celor trei corpuri ca funcţie analitică de timpul t, J. Chazy a ajuns (1920) la rezultate interesante asupra traiectoriilor: clasificare şi aspectul cînd t creşte nelimitat.

Rezultatul lui Poincaré nu se referă la toate traiectoriile fără excepţie: *probabilitatea* ca o traiectorie luată la întîmplare să nu confirme teorema este „infinit mică". Principiul *ergodic* după care o traiectorie (cu unele excepţii) este „peste tot densă" în spaţiu şi îl umple „cu o densitate constantă" este deosebit de dificil de demonstrat riguros: problema n-a putut fi tratată decît în 1931, sub impulsul lucrărilor lui G. D. Birkhoff, de către Koopman, E. Hopf, J. von Neumann, care au folosit rezultatele cele mai delicate ale teoriei funcţiilor de variabile reale.

Ecuaţiile generale ale dinamicii, sub forma dată de Hamilton, nu sînt altceva decît ecuaţiile caracteristicelor unei *ecuaţii cu derivate parţiale de ordinul întîi*. Acest fapt este cunoscut de mult. Dar fără îndoială că noţiunea de fascicul de extremale transversale la o aceeaşi suprafaţă (Kneser) şi teorema de „independenţă" semnalată de Hilbert în celebra sa conferinţă ţinută în 1900 la Paris, au fost cele care au clarificat în mod remarcabil acest tip de probleme: „a grupa împreună extremalele pentru a le face transversale la o aceeaşi suprafaţă" nu reprezintă altceva decît „a grupa caracteristicile unei ecuaţii cu derivate parţiale de ordinul întîi pentru a le face să genereze o soluţie".

Pe la 1901, É. Cartan a introdus noţiunea generală de *formă diferenţială invariantă* pentru un sistem diferenţial şi a precizat legătura sa strînsă cu noţiunea de invariant integral folosită de Poincaré.

În fine exploatînd ideea emisă de S. Lie că orice transformare de contact infinitezimală (a planului) poate fi considerată ca o propagare de unde, E. Vessiot a arătat (1906—1913) interesul noţiunii de undă elementară atît pentru calculul variaţional şi pentru teoria ecuaţiilor cu derivate parţiale de ordinul întîi cît şi pentru dinamica analitică şi fizica modernă.

INTERVENŢIA TEORIEI GRUPURILOR. Încă din 1883, É. Picard crease, pentru funcţiile care verifică o ecuaţie diferenţială *liniară*, o teorie cu totul analoagă celei dată de Galois pentru ecuaţiile algebrice. Cele n funcţii care formează un sistem fundamental de soluţii pentru o ecuaţie de ordinul n cu coeficienţi raţionali nu sînt definite prin relaţiile care le leagă de derivatele lor şi de variabilă decît cu excepţia anumitor *transformări liniare:* mulţimea acestor transformări constituie un grup continuu liniar, *grupul de raţionalitate*, care dă oarecum măsura transcendenţei soluţiilor considerate; clasificarea funcţiilor care verifică o ecuaţie liniară se bazează astfel pe proprietăţile grupurilor liniare. Folosind rezultatele lui Lie, Vessiot a prezentat (1891) o expunere elegantă a acestor cercetări, şi a indicat în particular condiţiile necesare şi suficiente pentru ca o ecuaţie liniară să se integreze prin cvadraturi.

Era natural să se încerce extinderea acestor rezultate şi la alte grupuri. Lie a arătat că aproape toate cazurile de reducere care se prezintă de obicei în integrarea ecuaţiilor diferenţiale provin din transformări care formează grup şi care, efectuate asupra variabilei x, sau asupra variabilei x şi a funcţiei y, lasă ecuaţia invariabilă. Dar cazurile semnalate de Lie erau cu totul speciale. J. Drach a remarcat (1893) că aceste cercetări nu puteau să reprezinte o adevărată generalizare a teoriei lui Galois şi a pus bazele (1898) unei teorii generale a *integrării logice*, considerînd grupul punctual cu n variabile care permite trecerea de la un sistem de n integrale prime independente, la un altul. Lucrările lui Vessiot (1902) au furnizat demonstraţia riguroasă a existenţei grupului de raţionalitate corespunzător. O metodă algebrică a lui Drach a condus direct, pornind de la ecuaţiile diferenţiale, la subgrupurile grupului punctual general; ea este independentă de teoria lui Lie, a cărei regăsire o permite.

Drach a studiat numeroase aplicaţii ale teoriei sale la diferite probleme de geometrie şi de mecanică (linii de curbură ale suprafeţei undelor, linii asimptotice ale suprafeţei cubice cea mai generală...). Şi tot această teorie a integrării logice i-a permis lui Painlevé să afirme că anumite ecuaţii noi definesc transcendente noi, *ireductibile* la transcendentele introduse anterior în analiză.

Teoria lui J. F. Ritt (1932—1950) poate fi considerată, într-un anumit sens, ca o perfecţionare a teoriei lui Drach; ea se leagă de puternicul impuls *algebric* dat, în special de E. Noether, matematicii moderne. Cercetările recente cele mai importante în această direcţie sînt cele ale lui E. Kolchin.

B. ECUAŢII CU DERIVATE PARŢIALE

Teoria ecuaţiei cu derivate parţiale de ordinul întîi este strîns legată de cea a unui sistem de ecuaţii diferenţiale ordinare, sistemul „caracteristicilor"; dacă ecuaţia este analitică şi caracteristicile sînt la fel, şi după natura datelor iniţiale (valoarea funcţiei necunoscute pe $x_n = 0$, de exemplu), soluţiile vor fi sau nu analitice. Rezultate analoage se obţin pentru un sistem de primul ordin cu o necunoscută.

Situaţia este mult diferită în cazul ecuaţiilor de ordine superioare lui 1 sau al sistemelor de ecuaţii de ordinul întîi cu mai multe necunoscute.

TEORIA ANALITICĂ. Să ne situăm mai întîi în punctul de vedere analitic, cum au făcut Cauchy, S. Kovalevskaia şi urmaşii lor imediaţi Ch. Méray şi Ch. Riquier. Riquier a fost primul care, în 1893, a demonstrat pentru un sistem analitic formal, compatibil, oarecare, o teoremă precisă care indică funcţiile iniţiale analitice independente, în număr finit, suficiente pentru a determina complet o soluţie. Această teoremă este foarte importantă, dar ea nu are în vedere altceva decît un rezultat local al analizei variabilelor complexe.

Dar, din însăşi această analiză s-au ridicat lucrările lui É. Cartan (1901, 1904): fără a face distincţie iniţial între diferitele variabile ce intervin şi între cele ce trebuie considerate ca dependente de altele, Cartan tratează cazul general al unui „sistem de ecuaţii cu diferenţiale totale" sau al unui „sistem al lui Pfaff" şi ajunge apoi, pentru sistemele generale de ecuaţii cu derivate parţiale, la noţiunea de „sistem în involuţie", independentă de orice formă particulară ce se poate da sistemului, invariantă faţă de orice schimbare de variabile, atît dependente cît şi independente.

M. Janet, datorită unei metode de recurenţă care permite trecerea de la cazul a n la cazul a $(n + 1)$ variabile independente, a arătat (1913) cum simpla teoremă a lui Cauchy pentru o ecuaţie cu o necunoscută, de ordin general m, permite obţinerea unei teoreme generale de existenţă: metoda se bazează în mod esenţial pe faptul că orice sistem de ecuaţii cu derivate parţiale, cu un număr finit de funcţii necunoscute, este echivalent cu un sistem care nu conţine decît un număr finit de ecuaţii (A. Tresse, 1892).

Teoria *fasciculelor de transformări infinitezimale*, fondată de Vessiot (1924), poate fi considerată ca fiind *corelativă* teoriei sistemelor lui Pfaff datorită lui É. Cartan.

Metoda lui É. Cartan foloseşte *calculul diferenţial exterior*: ea se adaptează în mod deosebit la aplicaţiile geometrice şi a servit de bază şi la importanta sa teorie a structurii grupurilor de transformări infinite, în sensul lui Lie. Ea a fost de atunci generalizată, în special de E. Kaehler, care a extins-o la sisteme oarecare de *ecuaţii diferenţiale exterioare* (1934).

Ecuaţia de ordinul al doilea cu două variabile independente, cu caracteristici distincte, a fost tratată (tot din punctul de vedere în care funcţiile introduse sînt analitice) de G. Darboux şi E. Goursat, care au redus studiul ecuaţiilor „integrabile explicit" la cel al ecuaţiilor care admit doi „invarianţi" pentru fiecare sistem de caracteristici. Deoarece stabilirea acestui fapt ar necesita un şir infinit de operaţii, a trebuit să se limiteze studiul la determinarea condiţiilor numai necesare pentru forma ecuaţiei, care este apoi particularizată. E. Gau şi R. Gosse au ajuns şi ei la rezultate în această direcţie. Folosind metoda fasciculelor de transformări infinitezimale, Vessiot a arătat (1942) că problema studiului ecuaţiilor integrabile prin metoda lui Darboux este dominată cu totul de teoria grupurilor continue de transformări.

Călăuzit de ideile sale asupra integrării logice şi lăsînd de o parte metoda lui Darboux, Drach a continuat studiul ecuaţiei de ordinul doi cu două variabile pe calea deschisă odinioară de Ampère: datorită introducerii explicite a variabilelor lui Ampère (1926), el a putut să arate legătura mutuală dintre ecuaţii simple, foarte diferite în aparenţă.

Studiul şi clasificarea sistemelor care cuprind tot atîtea ecuaţii independente cîte funcţii necunoscute, au fost abordate de M. Janet (1920) , care a dat (1926) o aplicaţie la sistemul lui Schläfli, folosit pînă atunci fără o justificare suficientă în teoria relativităţii de către Levi-Cività.

Dacă pentru o ecuaţie cu derivate parţiale cu n variabile independente, presupusă de ordinul al doilea şi liniară în raport cu derivatele secunde, se dau local, pe o multiplicitate cu n-1 dimensiuni, funcţia necunoscută şi una din derivatele sale într-o direcţie netangentă la multiplicitate, se pot calcula în general derivatele de ordinul al doilea şi derivatele succesive de orice ordin, cu excepţia anumitor multiplicităţi, numite caracteristice, puse în evidenţă de J. Beudon (1897). Această noţiune a fost extinsă de J. Hadamard la sistemele care cuprind tot atîtea ecuaţii cîte funcţii necunoscute, normale (1899), şi anormale în anumite ipoteze (1906). În cazul general, multiplicităţile caracteristice ale lui Beudon-Hadamard sînt definite printr-o ecuaţie cu derivate parţiale de ordinul întîi ale cărei linii caracteristice se numesc bicaracteristicile ecuaţiei sau ale sistemului de ecuaţii dat. Aceste noţiuni derivă din studiul *analitic* precedent: multiplicităţile caracteristice ale unei ecuaţii analitice date sînt multiplicităţile excepţionale relative la teorema lui Cauchy-Kovalevskaia.

VARIABILE REALE. Să privim acum problema din punctul de vedere al variabilelor reale, la care sîntem conduşi obligatoriu de către ecuaţiile fizicii matematice ca

$$(1) \qquad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}=0, \quad \text{ecuaţia potenţialului (newtonian);}$$

$$(2) \qquad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}-\frac{1}{a^2}\,\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=0, \quad \text{ecuaţia undelor.}$$

Prima ecuaţie nu are caracteristică reală, în timp ce caracteristicile celei de a doua, $f =$ const sînt definite de:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2-\frac{1}{a^2}\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^2=0.$$

Aceste fapte sînt strîns legate de natura soluţiilor reale pe care le prezintă fiecare dintre ecuaţii.

POTENŢIAL ŞI TIPUL ELIPTIC. Pentru ecuaţia potenţialului, dacă, de exemplu, se dau pe $x = 0$ valorile lui $u = \varphi$ şi ale lui $\partial u/\partial x = \psi$, care satisfac condiţii generale de continuitate şi de derivabilitate, şi dacă se caută o soluţie definită de ambele părţi ale lui $x = 0$, aceste două soluţii trebuie să formeze împreună o singură funcţie „armonică“, care este *analitică* (P. Duhem, 1891); problema nu este deci posibilă decît dacă φ şi ψ sînt ambele analitice. Dacă nu s-ar căuta u decît de o singură parte a lui $x = 0$, posibilitatea problemei ar pretinde o relaţie astfel încît dacă una este cunoscută, cealaltă să fie determinată cu excepţia unei funcţii analitice (Hadamard, 1902). Dealtfel, dacă în primul caz s-ar înlocui φ şi ψ prin funcţii analitice foarte apropiate (ceea ce este totdeauna posibil), nu se poate spera deducerea, prin trecere la limită, a unei soluţii: exemple foarte simple arată valorile foarte mari luate de soluţii pentru date analitice reale foarte mici (Hadamard, 1917).

Fizica a fost aceea care sugerează atunci ideea unei probleme „bine pusă“: problema lui Dirichlet, care constă în a găsi o soluţie a ecuaţiei (1) într-un volum dat, cunoscînd valoarea lui u pe frontierea acestuia.

Pentru ecuaţia (2), problema lui Cauchy este cea care rămîne „bine pusă“, cel puţin dacă datele sînt purtate de o multiplicitate „orientată în spaţiu“: multiplicităţile caracteristice intervin pentru a defini propagarea discontinuităţilor de ordinul al doilea.

Aceste noţiuni esenţiale au fost clar evidenţiate mai ales de către Hadamard încă din primii ani ai secolului al XX-lea.

Una dintre proprietăţile care rezultă imediat pentru o funcţie care satisface ecuaţia potenţialului (sau a lui Laplace) într-un domeniu D (funcţie armonică) este de a fi egală în fiecare punct A interior lui D, cu media valorilor sale pe suprafaţa unei sfere cu centrul în A care aparţine în întregime lui D. Această proprietate a condus la multe generalizări. F. Riesz a introdus (1926) sub numele de funcţii *subarmonice*, funcţiile *inferioare*, în fiecare punct A, mediei lor pe suprafaţa unei sfere suficient de mici cu centrul în A. Aceste funcţii au căpătat în continuare o mare importanţă (M. Brelot). Pe de altă parte, G. Choquet şi J. Deny (1944) au dat formule de medii pe mulţimi mai generale, şi cercetările lor au avut în această privinţă consecinţe curioase (H. Cartan, L. Schwartz). Pentru ecuaţii *de un tip cu totul diferit*, dar tot cu coeficienţi constanţi, indicăm existenţa unei formule generale de medie datorată lui L. Asgeirsson (1932), care constituie unul dintre cele mai importante rezultate generale ce se cunosc asupra cazului, puţin studiat, numit *ultrahiperbolic*, cel mai simplu exemplu constituindu-l ecuaţia

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 u}{\partial z \partial t} = 0 \quad \text{(Hamel, 1901).}$$

În ceea ce priveşte problema lui Dirichlet, Riemann a remarcat că, dintre toate funcţiile ce iau valoarea dată pe frontieră, o funcţie care minimizează o anumită integrală de formă simplă, pe care el a indicat-o, satisface în mod necesar ecuaţia (1). Weierstrass a observat că rămînea de demonstrat tocmai existenţa unei astfel de funcţii. D. Hilbert a reuşit aceasta (1901), graţie noţiunii de familie de funcţii „egal continue“ datorată lui Ascoli şi Arzelà. Această „metodă directă“ a „calculului variaţional“ a fost folosită de atunci, şi chiar în această problemă, de Lebesgue (1907), Zaremba (1909), iar în alte probleme analoage de L. Tonelli, F. Riesz, P. Montel, R. Courant.

Metoda propusă de C. Neumann (1877) consta în reprezentarea soluţiei căutate sub forma unui potenţial de dublu strat etalat pe frontiera considerată. Se ajunge astfel la o *ecuaţie integrală* de forma celor studiate mai tîrziu într-un mod mult mai general de către I. Fredholm (1903).

Ecuaţia generală a lui Fredholm se scrie: $f(M) + \lambda \int_V K(M, P) f(P) \mathrm{d}v_P = g(M)$, în care $K(M, P)$ este o funcţie dată, ca şi $g(M)$, iar λ este o constantă dată. Fredholm obţine în general o soluţie unică, explicită, sub forma cîtului a două funcţii întregi de λ; pentru valorile excepţionale ale lui λ problema este în general imposibilă; dacă ea devine posibilă, în acelaşi timp ea devine nedeterminată.

Puternica metodă a lui Fredholm a permis studiul a numeroase probleme legate de ecuaţiile cu derivate parţiale; ea a clarificat lucrările vechi ale lui Sturm-Liouville, a permis stăpînirea problemei existenţei funcţiilor fundamentale ale unui sistem vibrant care mai înainte necesitase atîtea eforturi: Schwartz a demonstrat existenţa primei funcţii fundamentale în 1885, Picard a celei de-a doua în 1893, Poincaré a tuturor în 1894. Semnalăm cu această ocazie dezvoltarea pe care a luat-o în ultima jumătate de secol ansamblul teoriei *ecuaţiilor integrale liniare*, cuprinzînd ecuaţia lui Volterra (mai simplă decît ecuaţia lui Fredholm), ecuaţia cu limite fixe „de prima specie“ (în care nu figurează în primul membru termenul $f(M)$ fără semn de integrare), mai dificilă decît ecuaţia lui Fredholm şi pentru care É. Picard a dat un rezultat important (1909), ecuaţiile integrale singulare (H. Weyl, 1908; T. Carleman, 1923). De remarcat că această teorie a găsit imediat în integrala lui Lebesgue (1902) şi în spaţiul lui Hilbert (1904) instrumente bine adaptate şi de cea mai mare utilitate.

O metodă cu totul diferită este cea a „baleiajului“, datorită lui Poincaré (1890), în care condiţiile la frontieră sînt verificate în fiecare aproximaţie, în timp ce ecuaţia cu derivate parţiale nu este verificată decît la limită. În urma lucrărilor lui de La Vallé-Poussin (1930), au apărut generalizări considerabile ale acestei metode, care îşi vor găsi mai bine locul puţin mai departe.

Toate afirmaţiile precedente se aplică, cu cîteva modificări de amănunt, oricare ar fi n, ecuaţiei generale a lui Laplace

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2} = 0.$$

Se ştie de mult timp că, în interiorul domeniului lor de existenţă, funcţiile care o satisfac (funcţii armonice), sînt *analitice* în raport cu diversele variabile $x_1, x_2, \dots, x_n$. Această teoremă remarcabilă a prilejuit un mare număr de generalizări: a fost demonstrată pentru ecuaţiile liniare eliptice cu coeficienţi analitici de É. Picard (1890), apoi pentru tipuri mult mai generale de către S. Bernstein (1904, 1910, 1928), G. Giraud (1926), M. Gevrey etc.

În cazul $n = 2$, oricare ar fi curba Jordan care limitează domeniul simplu conex dat, problema lui Dirichlet are o soluţie pentru orice funcţie continuă dată pe contur. În cazul $n = 3$, pentru domenii limitate de suprafeţe închise foarte simple, se poate întîmpla ca pentru anumite funcţii continue date pe frontieră, singura „soluţie" posibilă să nu mai tindă, pentru anumite puncte-frontiere excepţionale, spre valoarea dorită (Lebesgue, 1912). Punerea însăşi a problemei a fost în mod remarcabil perfecţionată de N. Wiener în 1924: dacă G este un domeniu limitat de o suprafaţă frontieră Γ, $f(P)$ o funcţie continuă în $G + \Gamma$, G_p un şir de domenii, cu frontierele Γ_p, care converg spre G şi pentru care problema lui Dirichlet este rezolvabilă, fiecare G_p făcînd parte din G_{p+1}, atunci şirul soluţiilor u_p (astfel încît $\Delta u_p = 0$ în G_p şi $u_p = f$ pe Γ_p) converge uniform, în fiecare domeniu închis care face parte din G, către o funcţie u; această funcţie este independentă de şirul special G_p şi de valorile luate de f în interiorul lui G. u se numeşte soluţia problemei generalizate a lui Dirichlet. De aici se deduce uşor noţiunea de *capacitate* a unui domeniu.

Funcţia armonică obţinută poate să nu tindă spre valoarea impusă: un punct în care acest fapt excepţional poate avea loc se numeşte *neregulat*. Wiener a arătat că un punct este *regulat* sau *neregulat*, după cum o anumită serie bine definită este *divergentă* sau *convergentă*.

O teoremă mai veche a lui É. Picard (publicată însă abia în 1923) afirmă că o funcţie armonică de M într-un domeniu, în afară de un punct A, şi mărginită într-un sens, este în mod necesar de forma $K \cdot h(AM) + v(AM)$, în care v este armonică chiar în A, $h(AM) = \frac{1}{|AM|^{n-2}} \left(\text{sau } \log \frac{1}{|AM|} \text{ dacă } n = 2\right)$, K fiind o constantă. G. Bouligand a obţinut (1925 sq.) generalizări interesante ale acestui rezultat pentru cazul unui punct-frontieră, nu neapărat izolat. Acest principiu al „singularităţilor pozitive" poate fi considerat şi ca fiind la origina cercetărilor fine ale lui M. Brelot (1939). În urma acestor cercetări şi folosind importantele observaţii ale lui de La Vallée-Poussin (1930, 1937), H. Cartan a dat (1941 sq.) o nouă teorie foarte generală a potenţialului şi a baleiajului, abordată sistematic cu ajutorul „măsurilor lui Radon pozitive" (funcţionale liniare pozitive, definite pe mulţimea funcţiilor continue pozitive, nule în afara unei mulţimi compacte); teoria punctelor *neregulate* urmează aici, în loc de a o preceda, teoria generală a baleiajului, şi decurge din ea, ca să zicem aşa, în mod natural. Trebuie menţionate de asemenea frumoasele lucrări ale lui G. Choquet asupra capacităţii mulţimilor.

Să mai menţionăm, printre alte ecuaţii celebre, pe cea la care conduce teoria suprafeţelor *minime:* problema lui Plateau a constituit obiectul studiilor lui R. Garnier, Douglas (1930), R. Courant. În toate aceste probleme se pun mereu cele trei chestiuni fundamentale de existenţă, unicitate şi continuitate.

UNDE ŞI TIPUL HIPERBOLIC. Dacă forma caracteristică a ecuaţiei cu derivate parţiale de ordinul al doilea cu m variabile studiată este nedefinită, adică sumă de m pătrate independente, dar nu toate de acelaşi semn, ecuaţia este de tip *hiperbolic.* Tipul hiperbolic *normal*, în care unul dintre pătrate este precedat de un semn, iar celelalte $m-1$ de semnul opus, a fost cel mai mult studiat pînă acum: problema lui Cauchy este în acest caz „bine pusă", totuşi cu condiţia ca varietatea S care poartă datele să aibă, cum se spune, o orientare în *spaţiu* şi nu în *timp*. Valoarea luată de u într-un punct P exterior lui S nu foloseşte decît o parte din date, şi anume acelea care se referă la o porţiune a lui S cu atît mai întinsă cu cît P este el însuşi mai depărtat de S. Presupunînd ecuaţia liniară, analitică, neparabolică, Hadamard a definit într-un mod general „soluţia elementară", deja întîlnită de Picard în cazuri particulare. Apoi, pentru tipul hiperbolic normal, el ajunge la soluţia problemei lui Cauchy „bine pusă", datorită utilizării „formulei fundamentale" (a lui Green-Riemann) şi a noţiunii noi, introduse cu această ocazie, a „părţii finite" a unei integrale divergente, aceasta totuşi în cazul m impar; cazul lui m par se tratează printr-o metodă de „coborîre". Lucrările lui Hadamard (1904-1932) au precizat diferitele moduri în care poate fi înţeles „principiul lui Huygens": în sens restrîns acesta nu este niciodată adevărat pentru m impar; el nu este adevărat nici pentru m par decît dacă „partea logaritmică a soluţiei elementare dispare". Într-o serie de cercetări începînd din 1933 (expuse în ansamblu în 1948), M. Riesz a reluat problema, reuşind să îndepărteze deosebirea celor două cazuri după paritatea lui m.

Tot de problema lui Cauchy, în care datele nu sînt presupuse analitice, ci doar derivabile pînă la un ordin convenabil, s-au ocupat cu succes, pentru sisteme, Herglotz (1927), Petrovski, Bureau, Stellmacher (1938), Garding, J. Leray (1951) d-na Fourès-Bruhat (1952) etc.

Revenind, după Schauder şi Petrovski, la punctul de vedere analitic a lui Cauchy-Kovalevskaia, Leray a studiat cazul liniar în care multiplicitatea care poartă datele este caracteristică numai în anumite puncte ale sale: soluţia poate fi uniformizată şi, în afară de cîteva cazuri excepţionale, este o algebroidă (1957).

Pe de altă parte, folosind transformarea lui Laplace, Leray ajunge în cazuri largi la o rezolvare explicită a problemei lui Cauchy (1958).

Faptul că problema lui Cauchy presupusă posibilă nu poate avea decît o soluţie, analitică sau nu, dacă multiplicitatea care conţine datele nu este caracteristică, a fost stabilit încă într-o lucrare veche a lui Holmgren (1901) în cazul ecuaţiilor liniare cu coeficienţi analitici.

Un progres esenţial a fost realizat de H. Lewy (1927), care a extins rezultatul la ecuaţii oarecare de tip hiperbolic şi la ecuaţii analitice de tip eliptic. Cercetări importante recente asupra acestei probleme de unicitate se datoresc lui Calderon şi Hörmander.

TIPUL PARABOLIC ŞI TIPUL MIXT. Exemplul cel mai simplu de ecuaţie *parabolică* este ecuaţia

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0.$$

O problemă „bine pusă" este de exemplu cea care constă în a se da u pe cele trei părţi ale frontierei domeniului $0 \leqslant x \leqslant l$, $y \geqslant 0$. Lucrările lui Holmgren (1905) şi E. E. Levi (1907) au fost urmate de cele ale lui Gevrey (1913—1918), care se aplică ecuaţiei parabolice liniare generale şi care au adus rezultate importante. Rolul care, pentru cazul eliptic, revenea funcţiilor analitice, aparţine acum funcţiilor $h(x)$ a căror derivată de ordinul p satisface inegalitatea $|h^{(p)}(x)| < \frac{M\Gamma(\alpha p)}{\rho^p}$, unde $\alpha = 2$ iar M şi ρ reprezintă două constante pozitive.

Dînd lui α o valoare oarecare superioară lui 1, se obţine o clasă de funcţii care generalizează clasa funcţiilor analitice şi care a dat loc la lucrări interesante (É. Borel, A. Denjoy, T. Carleman).

În ceea ce priveşte unicitatea soluţiilor problemelor la limită puse, G. Doetsch a adus precizări utile.

Numele lui Tricomi a fost asociat (1923) ecuaţiei $y \dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$, care este de tip eliptic în regiunea unde $y < 0$ şi de tip hiperbolic în regiunea unde $y > 0$. Ecuaţii de acest tip *mixt* joacă un rol important în studiul mişcărilor transsonice. Problemele ce se pun în acest caz oferă un caracter intermediar între problemele lui Dirichlet şi Cauchy (P. Germain şi Bader, 1953).

METODE OPERAŢIONALE. DISTRIBUŢII. Metodele operaţionale ale lui Heaviside (1892) au fost folosite mai întîi fără o fundamentare matematică suficientă. În multe cazuri au putut fi justificate datorită celebrei transformate a lui Laplace (B. Van der Pol, 1920—1955; G. Doetsch, 1937) sau prin folosirea funcţionalelor analitice (L. Fantappiè, 1930) sau a funcţiilor generalizate ale lui Sobolev (1936), sau, în sfîrşit, prin „distribuţii".

Această ultimă noţiune introdusă în 1945 de către L. Schwartz (vezi p. 82—83) a cunoscut deja un succes considerabil, permiţînd, de exemplu, să se regăsească într-un mod natural „părţile finite" introduse de Hadamard, să se considere dintr-un nou punct de vedere operatorii introduşi de M. Riesz şi să se dea o definiţie generală noţiunii de „soluţie elementară". Ea a fost folosită în frumoasele lucrări ale lui J. Deny asupra potenţialului (1950) şi în teoria ecuaţiilor cu derivate parţiale (Lions: probleme la limită; Malgrange, Ehrenpreis, Hörmander: existenţa şi aproximarea soluţiilor, 1955).

INTERVENŢIA TOPOLOGIEI. Leray şi Schauder (1933) au redus problema existenţei soluţiilor anumitor ecuaţii funcţionale întîlnite în problemele la limită relative la ecuaţiile cu derivate parţiale neliniare la probleme de *topologie*. După cum pentru o ecuaţie algebrică $P(x) = k$ în care P este un polinom dat cu coeficienţi reali, paritatea numărului soluţiilor este independentă de constanta reală k, tot aşa, pentru anumite ecuaţii funcţionale neliniare, există un întreg pozitiv, negativ sau nul (indice total), care rămîne invariant cînd parametrul variază, iar soluţiile rămîn mărginite în ansamblul lor: de aici rezultă un procedeu foarte general pentru a obţine teoreme de existenţă. Definiţia indicelui total sau a gradului topologic al transformării $y = x - F(x, k)$ în 0 derivă din lucrările lui Brouwer (1911); ea a fost extinsă de către Leray şi Schauder la spaţii foarte generale (vectoriale, normate, complete: spaţiile lui Banach).

Metoda a fost aplicată efectiv la exemple ca următoarele: fie într-un plan un contur dat; oricărei funcţii z de variabilele x, y facem să-i corespundă funcţia Z, care ia pe contur valoarea z şi satisface ecuaţia liniară

$$a \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + 2b \frac{\partial^2 Z}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} = f$$

în care a, b, c, f sînt funcţii date de $x, y, z, \frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y}$ (presupunem $ac - b^2 > 0$, astfel că existenţa lui Z decurge din lucrările vechi ale lui Picard). Se poate scrie $Z = F(z)$, procedeul precedent definind o anumită *funcţională*. Problema determinării unei soluţii a ecuaţiei neliniare (dealtfel cvasiliniară)

$$a \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + 2b \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = f$$

care ia totdeauna valoarea z pe contur, conduce la ecuaţia funcţională $z - F(z) = 0$.

În această chestiune trebuie să se folosească *inegalităţile* satisfăcute de soluţia Z a problemei indicate mai sus. Lucrările lui H. Lewy şi ale lui K. Friedrichs (1928), de exemplu, au ajutat mult în această problemă.

J. Leray putea să scrie (1936) într-un mod foarte general: „a demonstra că o ecuaţie funcţională are soluţii revine la a fixa majorante soluţiilor pe care ea poate să le aibă. A rezolva o ecuaţie înseamnă a majora necunoscutele şi a preciza cea mai posibilă comportare a lor".

El reuşeşte să enunţe pentru cazurile neliniare un rezultat analog alternativei clasice a cazurilor liniare, pentru care ecuaţia lui Fredholm a oferit unul dintre exemplele cele mai izbitoare.

Teoria ecuaţiilor diferenţiale şi cea a ecuaţiilor cu derivate parţiale sînt legate de numeroase teorii matematice: topologie, grupuri, probabilităţi, analiză funcţională etc. Ele sînt de asemenea strîns legate de studiul lumii exterioare: geometrie, mecanică, fizică, şi constituie ghiduri preţioase pentru punerea problemelor şi pentru descoperirea soluţiilor.

Studiul precedent confirmă această solidaritate a tuturor părţilor ştiinţei matematice şi această interpătrundere a analizei şi a fizicii, asupra cărora au insistat atît de mult D. Hilbert şi H. Poincaré.

CAPITOLUL VI
Analiza funcţională şi analiza generală

A. ANALIZA FUNCŢIONALĂ

Pînă la sfîrşitul secolului al XIX-lea nu au fost deloc studiate alte funcţii afară de cele numerice, de una sau de un număr finit de variabile numerice, funcţii pe care le vom numi în cele ce urmează, pentru comoditate, *funcţii ordinare*. Totuşi, apăruse interesul pentru funcţii numerice particulare, dependente de o infinitate de variabile numerice.

După cît se pare, Vito Volterra a fost primul care a întreprins studiul sistematic (început de el în secolul al XIX-lea şi continuat în secolul al XX-lea) al funcţiilor numerice ce depind fie de o curbă, fie de o funcţie ordinară. Primele erau numite de el „funcţii de linii“, iar J. Hadamard le-a numit pe celelalte „funcţionale“. Studiul general al acestor noi funcţii a fost primul obiect al analizei funcţionale.

Trebuie să observăm că s-ar fi putut obţine mult mai devreme noţiunea de funcţii de linii. Într-adevăr, aria A a unei curbe plane închise C este o funcţională care se poate reprezenta prin $A[C]$.

Analiştii secolului al XVIII-lea întîlniseră un nou tip cînd încercaseră să determine extremul unei integrale

$$I(y) = \int_a^b f\left(x,\ y,\ \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}\right) \mathrm{d}x \tag{1}$$

formă generală de expresii particulare întîlnite în mecanică şi în fizică.

$I(y)$ este de fapt o funcţie numerică a cărei variabilă este o funcţie „ordinară“ derivabilă $y(x)$. Pentru această integrală şi pentru altele mai generale, studiul calculului variaţional *in the large* datorit lui M. Morse a permis depăşirea rezultatelor anterioare care priveau minimul *local*, căutînd un minim care să nu fie astfel doar în vecinătatea unei soluţii determinate, dar care să fie minim într-un domeniu limitat dinainte.

Abel, Volterra, şi apoi Fredholm, au definit şi rezolvat „ecuaţiile integrale“. Este vorba să se determine soluţiile y ale unei ecuaţii $J[y] = 0$, unde $J[y]$ este o funcţională care, în cazul ecuaţiei lui Fredholm, de exemplu, este de forma

$$J[y] = y(x) + \int_a^b K(x,\ t)\ y\ (t)\ \mathrm{d}t - f(x), \text{ unde } K \text{ şi } f \text{ sînt funcţii date.}$$

Cazul particular al ecuaţiilor integrale simetrice $K(x,\ t) = K(t, x)$ a fost studiat cu succes de Hilbert şi E. Schmidt.

Dar nu erau motive să se limiteze la aceste tipuri particulare de funcţionale. S-a ajuns astfel să se caute, după cum ceruse J. Hadamard pentru prima dată, posibilitatea extinderii teoriei funcţiilor ordinare la cazul în care variabila sau variabilele nu mai sînt un număr sau numere. Trebuia, în particular, să se generalizeze noţiunile de continuitate, derivată, diferenţială, integrală, polinom, funcţie analitică etc. Încă de la începutul calculului variaţional se simţise necesitatea extinderii noţiunii de derivată la funcţionale de forma (1). Lagrange şi Euler au definit, din acest punct de vedere, ceea ce se numeşte „variaţia“ unei funcţionale $\Phi[z(x)]$, care nu este altceva decît derivata în raport cu un parametru numeric auxiliar a lui $\Phi[z(x, \alpha)]$ pentru $\alpha = \alpha_0$), unde $z(x, \alpha_0) = z(x)$.

Această introducere a permis stabilirea unor condiţii importante necesare pentru existenţa şi determinarea minimului lui $I[y]$ definit de (1). Dar aceasta nu reprezenta decît un prim pas, deoarece n-a reuşit să furnizeze condiţiile necesare şi suficiente. Trebuia să se generalizeze într-un mod mai strict, după cum se va vedea mai departe, noţiunile de derivată sau de diferenţială. Dimpotrivă, s-a obţinut o generalizare satisfăcătoare a funcţiillor „ordinare“ de primul grad, sub forma funcţionalelor liniare, adică, după J. Hadamard, a funcţionalelor care sînt distributive şi continue. S-a reuşit chiar reprezentarea acestor funcţionale liniare sub forma explicită a unei integrale în două cazuri importante, cele în care variabila aparţine spaţiilor funcţionale L_2 (F. Riesz şi M. Fréchet) şi C (F. Riesz) definite mai jos.

Mai general, M. Fréchet a generalizat noţiunea de polinoame denumind funcţională de ordin întreg n o funcţională continuă (în cîmpul funcţional considerat) a cărei „diferenţă de ordin n“ este identic nulă. În acelaşi scop o altă definiţie interesantă a fost propusă de A. Michal.

F. Riesz a introdus o interesantă generalizare a convergenţei unui şir de funcţii într-un spaţiu funcţional E, ca şi o extensiune foarte utilă a noţiunii de continuitate.

El spune că o funcţie $f_n(x)$ din E are o convergenţă slabă spre $f(x)$ din E dacă numărul Lf_n converge către Lf, oricare ar fi funcţionala liniară L definită pe E. Cînd $E = L_2$, el demonstrează că: pentru ca un şir f_n care converge slab către f să fie convergent de asemenea către f în sensul obişnuit al limitei în E, este necesar şi suficient ca $||f_n|| \to ||f||$.

Pe de altă parte, F. Riesz spune că o transformare $\varphi(x) = Tf(x)$ a unui element f din L_2 într-un element φ din L_2 este *complet continuă*, dacă ea transformă orice mulţime infinită mărginită de funcţii din L_2 într-o mulţime relativ compactă de funcţii din L_2.

Dar exemplu funcţiilor de linii îndeamnă să nu ne limităm la cazul în care variabila funcţionalei este o funcţie „ordinară“ şi să extindem cîmpul analizei funcţionale la studiul funcţiilor numerice a căror variabilă este un element abstract, adică un element de natură oarecare.

În 1915 M. Fréchet a dat, fără nici o altă limitare, prima definiţie şi mai multe proprietăţi ale integralei unei funcţionale dezvoltată pe o mulţime abstractă, fără a o presupune pe aceasta dotată cu o topologie oarecare. Definiţia reprezenta o extensiune la cazul mulţimilor abstracte a definiţiei integralei lui Radon pe o mulţime cu un număr finit de dimensiuni. Ea a fost urmată de o altă definiție cu totul diferită a lui Daniell, apoi regăsită de către Nikodym și completată de el printr-o importantă teoremă de derivare.

Dimpotrivă, extensiunea la analiza funcțională a altor noțiuni considerate (continuitate etc.) pretinde, după cum a remarcat J. Hadamard, o generalizare a noțiunii de limită și definirea unei „topologii“ într-un spațiu abstract. Dar întrucît generalizarea acestor noțiuni la cazul care va fi tratat (și care constituie obiectul „analizei generale“) nu aduce nici o dificultate nouă, ne vom mulțumi să descriem această extensiune mai generală.

B. ANALIZA GENERALĂ

Deja matematica clasică dă exemple de funcții $Y = G(y)$ unde Y, spre deosebire de y, nu este nici număr nici punct al unui spațiu cu un număr finit de dimensiuni.

Așa este, de exemplu, „transformarea lui Laplace“ $Y(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{itx}\, y(t)\,\mathrm{d}t$ în care Y ca și y sînt funcții „ordinare“ de x sau de t (eventual complexe), dar în care Y poate fi considerat și ca o funcție de y de un tip nou.

Sîntem deci conduși să înțelegem utilitatea unei teorii a transformărilor elementelor z de natură oarecare în elemente Z de natură oarecare, transformări ce se pot considera de asemenea ca definite fiecare printr-o funcție $Z = \Phi(z)$. Studiul lor constituie obiectul teoriei numite *analiza generală.*

Ca și pentru analiza funcțională, este cazul să se încerce o generalizare, în această nouă teorie, a noțiunilor clasice de continuitate, derivare (sau diferențiere), integrare, polinoame, număr de dimensiuni etc. În analiza clasică, în toate aceste noțiuni intervenea noțiunea de limită a unui șir de numere. Deci, mai întîi trebuie generalizată această noțiune, punîndu-se astfel bazele unei „topologii“ a „spațiilor abstracte“.

Topologia este studiul transformărilor continue ce se pot defini astfel: fie $\mathcal{E}$ o mulțime de elemente abstracte, din care dorim să facem suportul unui spațiu abstract. Asociem *într-un mod oarecare* oricărei submulțimi E din $\mathcal{E}$ o mulțime $\bar{E}$ care *conține* pe E și pe care o vom numi mulțime de închidere a lui E. Orice element x din $\bar{E}$ se va numi aderent lui E. Operăm la fel pentru o mulțime $\mathcal{F}$, suport al unui spațiu abstract (distinct sau nu de primul).

Fie acum $Y = \Phi(y)$ o transformare a unui element oarecare y care aparține unei submulțimi E din $\mathcal{E}$, într-un element Y din $\mathcal{F}$. Fie F mulțimea acestor transformate Y a elementelor din E. Vom spune că $\Phi[y]$ este continuă pe E în punctul y_0 al lui E dacă, atunci cînd y_0 este învecinat unei submulțimi oarecare E_0 din E, elementul corespunzător Y_0 este aderent mulțimii F_0 a elementelor Y corespunzătoare elementelor din E_0.

Se vede imediat că, în cazul în care $\mathcal{E}$ și $\mathcal{F}$ sînt spații carteziene, fiecare cu un număr finit de dimensiuni, această definiție este echivalentă cu definiția clasică, dacă x aderent lui E înseamnă că x este limita în sensul obișnuit a unui șir numărabil de elemente din E. Această definiție generală pare astfel rezonabilă.

Ori de cîte ori se pot da definiții care par rezonabile ale aderenței și continuității, se poate construi cu ajutorul lor o topologie. Din această cauză $\mathcal{E}$ și $\mathcal{F}$ își merită din plin numele de „spații topologice“. Fără îndoială, cu cît vom impune mai multe restricții alegerii mulțimilor de închidere, cu atît vom avea mai multe șanse de a obține proprietăți noi. Se poate da totuși un exemplu simplu în care această definiție atît de generală să permită o generalizare a unei noțiuni importante fără ca alte noi restricții să limiteze această generalizare.

NUMĂR DE DIMENSIUNI. În general se folosește o definiție a numărului de dimensiuni ale unui spațiu abstract care nu furnizează decît numere finite și care prin urmare nu se aplică la toate spațiile luate în considerare în analiza funcțională. Mai înainte, M. Fréchet dăduse o definiție a numărului de dimensiuni care permite să se distingă mai multe numere infinite de dimensiuni și care, prin urmare, are un rol util în analiza generală.

Fie A, B două mulțimi care aparțin respectiv la două spații topologice (în sensul foarte general precizat mai sus).

Vom spune că numărul de dimensiuni al lui A este cel mult egal cu cel al lui B dacă există un homeomorfism (corespondență biunivocă și bicontinuă) între A și B sau o parte din B, ceea ce vom scrie $dA \leqslant dB$. A și B vor avea același număr de dimensiuni dacă, în plus, $dB \geqslant dA$; în caz contrar, se va scrie $dA < dB$.

Acestea fiind spuse, fie R_n spațiul cartezian cu n dimensiuni, C spațiul funcțiilor ordinare continue, L_2 spațiul funcțiilor de pătrat sumabil cu topologiile lor clasice etc. Se poate arăta că dacă $n < p$, $dR_n < dR_p < dC$; astfel că C are un număr infinit de dimensiuni. În plus, un foarte mare număr de spații cu o infinitate de dimensiuni, dintre cele mai studiate, au același număr infinit de dimensiuni: $dC = dL_2 = \ldots$.. Și, în fine, acest număr (infinit) de dimensiuni nu este cel mai mare.

Chiar în cazul unui număr finit de dimensiuni, această definiție permite o clasificare a mulțimilor ale căror numere de dimensiuni sînt cuprinse între întregii n și $n+1$.

DIFERENȚIALA. În acest caz este dimpotrivă necesar să se recurgă la topologii mai puțin generale. Deși este posibil să se extindă acest domeniu de valabilitate, ne vom situa în cazul unei transformări $X = F(x)$ în care x și X aparțin la două spații „vectoriale distanțate“, distincte sau nu.

Vom spune că $F[x]$ are o diferențială pentru $x = x_0$ dacă există o funcțională liniară $\mathcal{L}[\Delta x]$, de creșterea Δx a lui x astfel încît norma $\|\Delta F[x] - \mathcal{L}[\Delta x]\|$ să fie infinit mică în raport cu norma $\|\Delta x\|$. Și atunci $\mathcal{L}[\Delta x]$ este diferențiala lui $F(x)$.

M. Fréchet a extins la această diferențială principalele proprietăți ale diferențialei clasice. Pe baza aceleiași definiții, A. Michal a putut extinde la spații abstracte teoria ecuațiilor diferențiale clasice, în timp ce Nevanlinna i-a adus o completare importantă.

Cînd $F(x)$ este diferențiabilă în sensul precedent, și dacă x este o funcție diferențiabilă de un parametru numeric t, avem $dF(x)/dt = \mathcal{L}[dx/dt]$.

Aceasta a fost proprietatea luată de J. Hadamard ca definiție a diferențialei lui $F(x)$ în cazul în care F este o funcție ordinară de un sistem x cu un număr finit de variabile numerice. În acest caz particular cele două definiţii sînt echivalente. M. Fréchet a extins această definiţie la cazul în care x şi F aparţin unui spaţiu vectorial distanţat. În acest caz mai general, definiţia este distinctă de precedenta, în sensul că este mai generală.

INTEGRARE. Bochner a extins definiţia integralei lui $X = F(x)$ la cazul în care nu numai x, ci şi X sînt elemente abstracte, aparţinînd la două spaţii vectoriale distincte. Definiţia sa este o consecinţă a definiţiilor din ce în ce mai generale ale lui Lebesgue şi Stieltjes, Radon şi Fréchet.

Dimpotrivă, Pettis a putut să dea, în aceste spaţii, o definiţie cu totul diferită pe baza identităţii $I[\mathfrak{L}F(x)] = \mathfrak{L}I\,[F\,(x)]$, unde I este integrala de definit, identitate satisfăcută pentru orice funcţională liniară $\mathfrak{L}(X)$. Aceste două definiţii sînt folosite în particular în calculul probabilităţilor pentru studiul elementelor aleatoare de natură oarecare.

C. TEORIA DISTRIBUŢIILOR*

În teoria ecuaţiilor cu derivate parţiale liniare sau neliniare, necesitatea de a lua în considerare „soluţii" care nu sînt funcţii derivabile în sensul obişnuit a fost pusă în evidenţă de Leray, Sobolev şi Friedrichs, Sobolev fiind cel care a avut ideea de a introduce derivatele generalizate.

Iată o foarte scurtă trecere în revistă a acestei idei: să considerăm pe dreapta R o funcţie f o dată continuu derivabilă şi fie f' derivata sa; fie apoi funcţia φ de asemenea o dată derivabilă continuu, de derivată φ', unde φ este nulă în afara unui compact din R; atunci $\int_R f'\varphi\,\mathrm{d}x = -\int_R f\varphi'\,\mathrm{d}x$.

Să considerăm acum o funcţie f local sumabilă pe R (şi deci nederivabilă în general); se constată totuşi că al doilea membru al egalităţii de mai sus este totdeauna definit, de unde ideea că *forma liniară* funcţională care face să-i corespundă $-\int_R f\varphi'\,\mathrm{d}x$ lui φ trebuie să definească într-un mod oarecare o generalizare a derivatei obişnuite a lui f, şi să definească deci f' nu ca funcţie, ci ca element al unui spaţiu mai vast — ca o *funcţie generalizată*.

Necesitatea de a introduce fiinţe noi, mai generale decît Funcţiile clasice, se făcea simţită dealtfel şi în alte numeroase ramuri ale matematicii: teoria suprafeţelor generalizate (L.C. Young), analiza armonică (Bochner), fizica teoretică şi calculul simbolic („funcţia" lui Dirac).

Totuşi, în timpul primelor cercetări ale lui Sobolev în această direcţie, teoria abstractă a spaţiilor vectoriale topologice nu era poate încă suficient de clarificată pentru a se putea evidenţia noţiunea de funcţie generalizată doar în cazuri particulare. Lui L. Schwartz (1945) i se datoreşte definiţia generală a funcţiilor generalizate sau a distribuţiilor, ca forme liniare continue pe spaţiul funcţiilor indefinit diferenţiabile cu suport compact, acest spaţiu — şi aceasta constituie o caracteristică fundamentală — fiind dotat cu o topologie de limită inductivă de spaţii ale lui Fréchet. L. Schwartz a studiat apoi în mod amănunţit aceste entităţi noi — înrudite dealtfel cu operatorii lui Mikusinsky — şi a obţinut foarte importanta teoremă a nucleelor.

---

* Rezumatul evoluţiei teoriei distribuţiilor a fost efectuat de J. L. Lions.

În mod schematic, această teoremă afirmă că orice aplicaţie liniară continuă a unui spaţiu funcţional E (pe un spaţiu euclidian X) într-un spaţiu funcţional F (pe un spaţiu euclidian Y) se exprimă, în mod unic, prin $Ue(x) = \int_Y N(x, y)\, e(y)\, dy$, unde $e \in E$, $Ue \in F$ şi în care $N(x, y)$, nucleul aplicaţiei U, este o distribuţie pe spaţiul produs al lui X şi Y.

Această teoremă constituie punctul de plecare al cercetărilor lui A. Grothendieck asupra „spaţiilor nucleare"; pe de altă parte, ideile lui L. Schwartz au fost dezvoltate şi completate de Ghelfand şi şcoala sa în U.R.S.S.

Un inconvenient al acestor teorii constă în faptul că sînt liniare; au fost făcute încercări pentru a „multiplica" distribuţiile — în special sub presiunea fizicienilor teoreticieni — dar succesele în această direcţie sînt limitate.

În schimb, în problemele liniare relative la ecuaţiile cu derivate parţiale, ecuaţiile integrale, teoria potenţialului, teoria părţilor finite a lui Hadamard şi a soluţiilor elementare (sau fundamentale), teoria produsului de convoluţie, teoriile transformării lui Fourier, şi a lui Laplace, analiza armonică, teoria reprezentărilor grupurilor lui Lie şi teoria abstractă a spaţiilor vectoriale topologice, aplicaţiile teoriei create sînt foarte numeroase, dar departe de a fi epuizate.

CAPITOLUL VII
Geometria

Secolul al XIX-lea a fost martorul unor progrese remarcabile în geometrie. Ideile lui F. Klein şi H. Poincaré au condus în special la o clasificare a geometriilor care avea să se dovedească fecundă.

O geometrie este studiul proprietăţilor figurilor care nu sînt alterate de transformările unui grup G, adică de o mulţime de transformări astfel încît dacă se efectuează succesiv două dintre aceste transformări T, T', se obţine o transformare (produsul TT') care aparţine mulţimii, şi, pe deasupra, inversa T^{-1} a unei transformări aparţine de asemenea mulţimii (noţiune datorată lui Galois). Grupul G este grupul principal sau fundamental al geometriei considerate. Astfel, grupul fundamental al geometriei metrice este cel al deplasărilor. Dacă spaţiul este raportat la un triedru trirectangular şi dacă se ia aceeaşi unitate de măsură pe cele trei axe, transformările grupului se exprimă prin aceleaşi formule ca şi transformările de coordonate. Grupul fundamental al geometriei proiective este cel al omografiilor; el este mulţimea substituţiilor liniare efectuate asupra a patru variabile omogene.

În exemplele precedente grupurile considerate sînt continue; cu alte cuvinte, cantităţile care intervin în ecuaţiile transformărilor pot varia în mod continuu. S-au considerat de asemenea şi alte grupuri.

În 1866, Cremona a introdus transformările biraţionale.

Acestea sînt transformări care, în general, fac să corespundă unui punct, un singur punct, relaţiile între două puncte omoloage exprimîndu-se prin funcţii raţionale. Aceste transformări formează un grup, dar deoarece în ecuaţiile transformărilor figurează întregi, grupul este discontinuu. Geometria care are acest grup drept grup fundamental este geometria algebrică. Ea constă în repartizarea figurilor în clase, două figuri aparţinînd aceleiaşi clase dacă se poate trece de la una la alta printr-o transformare biraţională. Atunci trebuie să se caracterizeze fiecare clasă printr-un „model proiectiv".

Dar geometrii au mers mai departe. Ei au plasat într-o aceeaşi clasă fiinţele geometrice între care se poate trece printr-o transformare biraţională, fără ca aceasta să se poată extinde la spaţiile înconjurătoare. Astfel, o curbă algebrică strîmbă şi proiecţia sa pe un plan aparţin în general aceleiaşi clase. Din acest punct de vedere, studiul curbelor algebrice reprezintă opera secolului al XIX-lea, în timp ce studiul suprafeţelor algebrice este departe de a fi terminat. Problema a fost abordată nu numai pe cale geometrică, ci şi prin procedee analitice, în special de Picard, G. Humbert și mai tîrziu de H. Poincaré. Punctul de vedere geometric este datorat, în ordine principală, lui M. Noether, C. Segre, E. Bertini, F. Enriques, G. Castelnuovo, F. Severi. Lucrarea *Théorie des fonctions algébriques de deux variables indépendentes* (2 vol., Paris, 1897—1906) a lui É. Picard și G. Simart reprezintă aportul secolului al XIX-lea.

Riemann a fundat geometria pe noțiunea de distanță; această geometrie nu intră în clasificarea lui Klein și Poincaré. Lacuna a fost acoperită mai tîrziu de É. Cartan.

Geometria infinitezimală, fundată de geometrii Revoluției franceze (Monge, Dupin, Meusnier etc.), pe de o parte, și de Gauss, pe de altă parte, a cunoscut, în secolul al XIX-lea o dezvoltare considerabilă. Aceasta este fixată în *Leçons sur la théorie générale des surfaces* a lui G. Darboux (4 vol., Paris, 1887—1896) și în *Geometria differenziale* a lui L. Bianchi (2 vol., Pisa, 1902—1903).

GEOMETRIA PROIECTIVĂ. Geometria proiectivă a fost elaborată în secolul al XIX-lea într-un spațiu cu un număr oarecare de dimensiuni.

Se poate construi un spațiu proiectiv cu n dimensiuni considerînd mulțimile ordonate de $n + 1$ numere finite, nu toate nule. O astfel de mulțime se numește punct iar cele $n + 1$ numere, coordonatele sale omogene. Se convine că două puncte ale căror coordonate sînt proporționale coincid. Mulțimea acestor puncte constituie un spațiu proiectiv cu n dimensiuni, iar grupul fundamental este cel al omografiilor, adică cel al substituțiilor liniare omogene efectuate asupra coordonatelor.

Inițial, coordonatele și coeficienții omografiilor aparțineau corpului numerelor reale sau ale numerelor complexe; mai tîrziu s-au construit geometrii în care numerele folosite aparțin unui corp oarecare. În acest mod s-a construit o geometrie a cuaternionilor, o geometrie hermitică etc. A fost luată de asemenea în considerare geometria ce se deduce din geometria complexă prin introducerea transformării conjugatelor, care face să corespundă unui punct, punctul ale cărui coordonate sînt conjugatele imaginare ale coordonatelor primului (É. Cartan, A. Comessatti).

Geometriile proiective construite pe un corp de numere oarecare își găsesc aplicația în geometriile grupurilor continue finite ale lui Lie, grupuri care au fost clasificate de Lie, Killing și mai ales É. Cartan. Problema ce se pune este construirea unei geometrii care să aibă ca grup fundamental un grup al lui Lie dat. Există evident o infinitate de soluții și trebuie aleasă cea mai simplă. Rezolvată în cazul grupurilor simple de É. Cartan, problema a constituit obiectul cercetărilor lui H. Weyl iar mai recent ale lui Chevalley și Tits.

Alte cercetări de geometrie proiectivă în domeniul complex se referă la studiul „entităților" algebrice, și în special la reprezentarea lor prin matrici de forme algebrice egalate cu zero. Aceste probleme, ca și cele care se referă la varietățile lui C. Segre, produse ale mai multor spații liniare, sînt folositoare în geometria algebrică.

GEOMETRIA ALGEBRICĂ. După cum am spus, studiul suprafețelor algebrice a fost abordat pe o cale transcendentă (integralele lui Picard și integralele duble) și pe o cale geometrică (prin operații efectuate asupra sistemelor de curbe trasate pe o suprafață). Anumite indicii conduceau la impresia că suprafețele ce posedă integrale ale lui Picard de prima specie coincid cu cele care conțin sisteme continue neliniare de curbe. Eforturile unite ale lui Picard, Humbert, și mai ales F. Enriques, Castelnuovo și Severi au condus la un rezultat nu numai calitativ, ci și cantitativ (1905). Mai tîrziu, H. Poincaré (1910) a dat o demonstrație transcendentă a acestui rezultat iar considerațiile sale au constituit punctul de plecare al frumoaselor cercetări ale lui Lefschetz.

Geometria algebrică a fost extinsă la varietățile cu mai multe dimensiuni. Se punea următoarea problemă: într-o clasă de varietăți algebrice există o varietate lipsită de puncte singulare? Pentru curbe răspunsul afirmativ este ușor; pentru suprafețe el este mult mai dificil și a fost dat de B. Levi. Pentru varietățile cu trei dimensiuni răspunsul se datorește lui Walker, dar eforturile geometrilor n-au reușit să depășească acest stadiu.

O altă problemă constă în studiul varietăților algebrice ale căror puncte au drept coordonate funcții raționale de parametrii. Cînd varietatea este o curbă, ea este rațională (Clebsch); același lucru se întîmplă și cînd ea este o suprafață (Castelnuovo) dar demonstrația necesită considerente mai înalte. Cînd se trece la varietățile cu trei dimensiuni, exemplele arată că varietatea nu mai este obligatoriu rațională. Această problemă se leagă de cea a determinării condițiilor de raționalitate ale unei varietăți algebrice. Ea a fost rezolvată pentru suprafețe de către Castelnuovo dar interesantele cercetări ale lui Fanno asupra varietăților cu trei dimensiuni au evidențiat marea sa complexitate.

Studiul geometric al suprafețelor algebrice, ale cărui baze au fost puse de Enriques la sfîrșitul secolului al XIX-lea, a fost continuat de geometrii italieni (Enriques, Catelnuovo, Severi și elevii lor); scopul său este de a conduce la o clasificare a suprafețelor. Dar dacă s-au obținut proprietățile unei suprafețe, trebuie demonstrat că ea există construindu-i-se un model proiectiv. Această problemă a reținut atenția a numeroși geometri și teoria involuțiilor aparținînd unei suprafețe algebrice a furnizat numeroase rezultate.

Cînd se proiectează o suprafață algebrică $f(x, y, z) = 0$, din punctul de la infinit a lui Oz pe planul x, y, se obține ceea ce se numește un plan multiplu, iar conturul aparent se numește curbă de ramificație a planului multiplu. Problema care se pune este de a stabili în ce condiții, o curbă dată apriori în planul x, y reprezintă curba de ramificație a unui plan multiplu. Natural, se dau și substituțiile funcției $z=z(x,y)$ în vecinătatea unui punct al curbei. Această problemă a reținut atenția lui Enriques, a lui Chisini și a elevilor săi. Pentru Chisini, ea a constituit ocazia de a da o elegantă reprezentare topologică a curbelor algebrice.

Teoria funcțiilor abeliene este capabilă de interpretări geometrice; în acest mod Picard a introdus varietățile ale căror coordonate ale punctelor sînt funcții abeliene. Aceste varietăți se introduc în mod natural în teoria suprafețelor ca reprezentînd sistemele liniare ce aparțin unui sistem continuu de curbe trasate pe o suprafață neregulată (Castelnuovo); ele au fost numite varietățile lui Picard. Cazul în care varietatea lui Picard este o suprafață a fost studiat în cadrul geometriei de Enriques și Severi, și în cadrul analizei de Bagnera și De Franchis (este cazul să amintim aici studiile lui G. Humbert asupra suprafeței lui Kummer). Alături de remarcabilele cercetări ale lui Castelnuovo și Lefschetz, Cotty, G. Scorza și Rosati au folosit reprezentări spațiale ale integralelor abeliene și cicluri ale unei suprafețe a lui Riemann care s-au dovedit fecunde. Mai recent, Siegel, Conforto și A. Weil au adus noi contribuții la studiul acestor funcții.

În cercetările precedente, numerele considerate sînt complexe, dar s-au luat în considerare și părțile reale ale entităților algebrice. Această problemă, pusă de Harnack și Hilbert, a fost studiată în cazul curbelor de Brusotti, iar în cazul suprafețelor de Comessatti și elevii lor. Ei au obținut rezultate foarte interesante. Comessatti a studiat și varietățile abeliene reale.

Teoria varietăților algebrice a fost abordată și prin alte metode. Una se leagă de teoriile algebrei moderne și se bazează pe teorema lui Hilbert după care toate hipersuprafețele care conțin o varietate algebrică dată într-un spațiu proiectiv complex se exprimă liniar prin intermediul unui număr finit dintre ele (teoria inelelor de plinoame).

Pe de altă parte, Chevalley, A. Weil, și Zariski, în special, au construit geometria algebrică pe baze noi, căutînd să aducă mai multă rigoare în raționamente. În unele dintre aceste lucrări se consideră cazul unui corp oarecare.

GEOMETRIA INFINITEZIMALĂ ȘI GEOMETRIA PROIECTIV-DIFERENȚIALĂ. Una dintre problemele asupra căreia Darboux și Bianchi au atras atenția este cea a lui Plateau; ea constă în căutarea unei suprafețe minime ce trece printr-un contur dat (suprafețe realizate fizic de către Plateau cu ajutorul unor lichide gliceriante). Studiată de S. Bernstein, Harra și Garnier, această problemă a fost rezolvată de Rados și Douglas.

Teoria triedrului mobil introdusă de Ribaucour, a fost folosită de Darboux cu mare succes în studiul curbelor și suprafețelor. Demoulin a prezentat extensiuni ale acesteia la spațiile conforme și proiective; generalizări mult mai largi au fost date de E. Cotton și mai ales de É. Cartan care i-a aplicat rezultatele sale asupra structurii grupurilor continue.

Deformarea suprafețelor a constituit obiectul a numeroase generalizări.

Se consideră în spațiu un grup fundamental G și două suprafețe, S și S'. Dacă se poate stabili între S și S' o corespondență punctuală astfel ca două porțiuni infinit mici omoloage ale celor două suprafețe să poată coincide pînă la infiniți mici de ordin $k+1$, printr-o transformare din G (variabilă cu porțiunile considerate), se spune că S și S' sînt deformate de ordin k una față de cealaltă în raport cu grupul G. Dacă G este grupul deplasărilor iar $k=1$, se regăsesc suprafețele aplicabile.

Fubini a luat în considerare cazul în care G este grupul proiectiv și în care $k=2$; suprafețele S și S' se numesc atunci proiectiv aplicabile. É. Cartan a arătat că în afara suprafețelor riglate, suprafețele proiectiv aplicabile sînt excepționale; acestea sînt suprafețe focale ale anumitor congruențe *W*. Apoi G. Fubini și, mai ales, É. Cartan au extins aceste considerații la varietățile cu mai mult de două dimensiuni.

Aceste probleme au dat naștere unei ramuri a geometriei infinitezimale numită geometrie proiectiv-diferențială, în care grupul fundamental este grupul proiectiv. La drept vorbind, multe dintre problemele tratate în geometria infinitezimală clasică conduc la această nouă geometrie. Așa sînt de exemplu teoria liniilor asimptotice, cea a transformatelor lui Laplace, a congruențelor *W* etc. Încă din 1908, Wilczynski a pus bazele acestei teorii, al cărui studiu a fost continuat de Fubini, Cech, Terracini, Bompiani, B. Segre, Bol, Godeaux etc. Se pot considera ca intrînd în cadrul acestei geometrii și studiile mai vechi ale lui C. Segre.

Pentru a avea o idee a problemelor studiate, să considerăm o suprafață (x) raportată la liniile sale asimptotice u, v și fie U, V punctele care reprezintă tangentele într-un punct x la liniile u, v pe hipercuadrica Q a lui Klein. Punctele U, V sînt transformatele lui Laplace unul al celuilalt (Țițeica, Bompiani); aceste puncte determină un șir al lui Laplace L autopolar în raport cu Q, ceea ce permite să se atașeze punctului x un șir de cuadrice dintre care prima este cuadrica lui Lie. Generatoarea unei congruențe W, pentru care (x) este o suprafață focală, este reprezentată printr-un punct al dreptei UV care descrie o rețea conjugată congruenței (UV), (Darboux). Dacă șirul L se oprește prezentînd cazul lui Laplace, el se oprește de cealaltă parte prezentînd în general cazul lui Goursat. Semnalăm de asemenea că Terracini a determinat toate suprafețele ale căror asimptote aparțin la complexe liniare.

Chiar în geometria metrică, reprezentările hiperspațiale pot aduce mari servicii după cum a arătat Vincesini în studiul transformării lui Lie.

Se pot atașa geometriei proiective diferențiale unele cercetări ale lui Villa și ale elevilor săi. Dîndu-se între două spații o transformare punctuală, dacă P și P' sînt două puncte omoloage, se construiesc transformările biraționale care aproximează transformarea dată, în vecinătatea lui P și P', pînă la cel mai ridicat ordin posibil.

Cercetările lui C. Segre amintite mai sus au condus la studiul varietăților ale căror puncte au coordonate ce satisfac un sistem dat de ecuații cu derivate parțiale (Terracini, Bompiani, Togliatti etc.); aceasta a condus la o generalizare a asimptotelor, a sistemelor conjugate și a transformării lui Laplace (Bompiani, B. Segre). Menționăm această proprietate curioasă pusă în evidență de Bompiani: suprafața rațională normală obținută prin asocierea fiecărei curbe plane de ordin n a unui hiperplan dintr-un spațiu cu $(n/2)(n+3)$ dimensiuni satisface un sistem de ecuații cu derivate parțiale, care o caracterizează.

Bompiani a generalizat teoria lui Riemann a suprafețelor luînd în considerare proprietățile unei varietăți invariante pentru deformațiile care conservă lungimile de arc și curburile, pînă la un anumit ordin ale curbelor trasate pe varietate.

Vrănceanu a introdus studiul suprafețelor pe care le-a numit neolonome, care sînt asociate, într-un spațiu cu n dimensiuni, unui sistem necomplet integrabil de $(n-2)$ ecuaţii ale lui Pfaff. E. Bortolotti, Hlavaty şi Maxia au adus contribuţii importante la această problemă.

GEOMETRIILE LUI CARTAN. Relativitatea generală a atras atenţia geometrilor asupra teoriei geometrice a varietăţilor: noţiuni noi au apărut, datorate în special lui É. Cartan, T. Levi-Civitá şi H. Weyl. Varietăţile considerate sînt în general varietăţi riemanniene; ele sînt presupuse scufundate într-un spaţiu euclidian cu un număr de dimensiuni suficient de ridicat.

Levi-Civitá a introdus o noţiune de paralelism care se poate explica, în cazul unei suprafeţe, în modul următor:

Fie A şi B două puncte ale unei suprafeţe S şi l o linie care le uneşte pe ea. Desfăşurabila circumscrisă lui S de-a lungul lui l poate fi desfăşurată pe planul tangent la S în A. Punctul B ia o poziţie B'. Ducem în A o tangentă a la S; în acest caz paralela b' dusă prin B' la a este bine determinată. Revenind la S, direcţiei b' îi corespunde o direcţie b tangentă la S în B. Ea este tocmai paralela lui Levi-Civitá la a în B. Această paralelă depinde în general de drumul l, afară de cazul cînd S este o suprafaţă desfăşurabilă; unghiul a două direcţii se conservă totdeauna. În sfîrşit, dacă direcţia b este totdeauna independentă de l, suprafaţa este local euclidiană.

Concepţia lui É. Cartan se poate rezuma astfel:

Cartan consideră un continuu V cu n dimensiuni şi fiecărui punct A din el îi ataşează un spaţiu S_A care conţine pe A şi în care se găseşte stabilită o geometrie cu grup (continuu) fundamental G. În plus, dacă A şi B sînt două puncte infinit vecine ale lui V, el îşi dă o transformare care permite trecerea de la spaţiul S_A la spaţiul S_B. Porţiunea lui V infinit vecină lui A poate fi asimilată, pînă la infiniţi mici de ordinul al doilea, unui spaţiu de grup fundamental G. Dacă C este un punct al lui V şi l drumul trasat pe V de la A la C, se pot racorda spaţiile S_A şi S_C printr-un fel de integrare de-a lungul lui l, dar această legătură va depinde în general de l. Luînd în considerare drumurile ce pornesc şi revin în A, vor apărea o serie de legături ale lui S_A cu el însuşi, care se vor traduce prin transformări ale grupului G. Aceste transformări formează un subgrup continuu g al lui G, pe care Cartan îl numeşte grup de olonomie. Continuul V va fi un spaţiu neolonom de grup fundamental G. Subgrupul g poate evident coincide cu G sau cu identitatea. În acest din urmă caz, V este un spaţiu olonom de grup G.

Geniala concepţie a lui Cartan conţine deci conceptul lui Klein ca un caz particular; de asemenea, geometriile lui Riemann intră în conceptul lui Cartan. Geometriile afine ale lui H. Weyl şi Eddington sînt de asemenea cazuri particulare ale geometriilor cartaniene, dar în acest caz grupul g lasă punctul A fix. Cartan a construit geometriile pentru care grupul G este cel al deplasărilor, sau grupul proiectiv, sau grupul conform. Ele au cunoscut numeroase aplicaţii.

Un mare număr de cercetări asupra varietăţilor lui Riemann au fost efectuate bazîndu-se în special pe calculul diferenţial absolut al lui Ricci; trebuie menţionaţi aici Schouten, Veblen etc.

Finsler a construit o geometrie în care a luat pentru ds o funcţie omogenă de gradul întîi, pozitiv definită, de diferenţialele variabilelor independente.

É. Cartan, după un studiu al acestor geometrii, a construit o altă geometrie, bazată pe noţiunea de arie.

TOPOLOGIA ŞI GEOMETRIA DIFERENŢIALĂ GLOBALĂ. Se poate lua ca grup fundamental al topologiei sau *analysis situs*, grupul transformărilor biunivoce, continue în ambele sensuri. Cercetările topologice din secolul al XIX-lea sînt marcate de suprafeţele lui Riemann, numerele lui Betti, şi de cinci memorii celebre ale lui Poincaré. Această ramură a geometriei care stă la baza majorităţii teoriilor matematice, a luat un mare avînt în secolul al XX-lea. Se pot cita lucrările lui Brouwer, Kerekjarto, Hopf, Veblen, Lefschetz, Alexander, Alexandrov, Seifert, Threlfall, Cech, Kolmogorov, Pontreaghin, Eckmann etc. Au fost publicate şi tratate, ca cele ale lui Veblen, Alexandrov şi Hopf, Seifert şi Threlfall. Dar trebuie citate mai ales remarcabilele lucrări ale lui J. Leray care, reluînd problema *ab ovo*, a generalizat noţiunile introduse înaintea lui şi a expus topologia algebrică astfel încît ea să fie mai uşor aplicabilă. În special teoria sa a fasciculelor a permis noi cercetări asupra varietăţilor analitice (H. Cartan, Oka, Stein, Kodaira) şi asupra geometriei algebrice (Serre, Grothendieck). Amintim că cercetările lui É. Cartan asupra echivalenţei, bazată pe teoria formelor lui Pfaff, permit găsirea condiţiilor necesare şi suficiente pentru existenţa anumitor reprezentări topologice, în timp ce metodele topologice permit stabilirea numai a condiţiilor necesare*.

Plecînd de la unele idei ale lui Sophus Lie, Élie Cartan a dezvoltat teoria sistemelor Pfaff în involuţie, din care a desprins două direcţii de cercetare de mare generalitate şi profunzime, strîns legate între ele: studiul grupurilor continue, finite şi infinite, de transformări ce lasă invariant un sistem de ecuaţii cu derivate parţiale, şi problema echivalenţei, pe care a formulat-o în modul următor: fiind date două sisteme de forme Pfaff $(\omega_1,\ldots,\omega_n)$, $(\overline{\omega}_1,\ldots,\overline{\omega}_n)$ în două şiruri de variabile $(x_1,\ldots,x_n)$, respectiv $(\bar{x}_1,\ldots,\bar{x}_n)$, şi un grup G de transformări liniare în n variabile, se cer condiţiile necesare şi suficiente de existenţă a unei aplicaţii diferenţiabile $f\colon (x) \to (\bar{x})$ şi a unei aplicaţii diferenţiabile $g\colon (x) \to g(x) \in G$, astfel încît să avem $\omega_i = g_i^j f^*\omega_j$.

Dacă există, perechea (f, g) este definită abstracţie făcînd de o transformare aparţinînd unui grup continuu, ce poate fi finit sau infinit. É. Cartan a determinat grupurile continue primitive şi a elaborat o metodă generală de studiu a grupurilor continue, bazată pe prelungirile unui grup continuu.

În limbaj modern, echivalenţa a două sisteme de forme Pfaff este echivalenţa a două G-structuri. Problema locală a echivalenţei a două G-structuri a fost abordată şi rezolvată de V. Guillemin şi S. Sternberg în anul 1967. În anul următor, P. Molino a construit un spaţiu universal pentru G-structuri cu ajutorul varietăţilor Grassman.

În anul 1961, K. Kodaira a studiat deformările G-structurilor integrabile corespunzătoare pseudogrupurilor infinite complexe ale lui É. Cartan, arătînd că aceste pseudogrupuri sînt caracterizate de faptul că admit ca invarianţi forme diferenţiale exterioare olomorfe, ce au anumite proprietăţi de stabilitate. D. Spencer studiase deformările structurilor analitice complexe, care corespund primei clase de grupuri primitive ale lui Cartan.

Grupurile continue infinite au mai fost studiate de D. Quillen, S. Sternberg, I. Singer, V. Guillemin, Kobayashi şi Nagano şi I. Hayashi.

M. Kuranishi a dezvoltat în mod considerabil teoria prelungirii sistemelor Pfaff în involuţie, dînd formulări globale foarte generale.

Toate aceste lucrări se bazează pe teoria spaţiilor fibrate şi a fasciculelor şi folosesc intens metodele algebrei omologice. Ele au fost punctul de plecare al analizei globale, care studiază soluţiile ecuaţiilor cu derivate parţiale definite pe spaţiul secţiunilor unei fibrări diferenţiabile sau analitice. (— C. Teleman).

Geometria diferenţială globală, aşa cum a fost construită în special de către Ehresmann, S. Chern şi A. Lichnerowicz, se poate ataşa topologiei. Ne vom limita la cîteva indicaţii necesare înţelegerii naturii problemelor studiate.

Să considerăm o varietate topologică V cu n dimensiuni, fiecărui punct al ei putîndu-i-se asocia o vecinătate homeomorfă unei sfere pline cu n dimensiuni (sau cu un cub plin cu n dimensiuni). Aceasta revine la a presupune că fiecărui punct al vecinătăţii îi sînt asociate n coordonate reale. Să presupunem că există un sistem de vecinătăţi care acoperă în întregime varietatea şi că, dacă un punct aparţine la două vecinătăţi, coordonatele uneia sînt funcţii de coordonatele celeilalte, cu condiţia ca jacobianul acestor funcţii să nu fie nul. Dacă aceste funcţii admit derivate pînă la ordinul p, se obţine astfel un atlas al varietăţii, diferenţiabil pînă la ordinul p.

O noţiune care intervine în această geometrie este cea de varietate fibrată.

O varietate V cu m dimensiuni se numeşte fibrată dacă, prin fiecare punct al lui V trece o varietate F (fibra), aceste varietăţi F fiind toate homeomorfe. Mulţimea abstractă a varietăţilor F reprezintă o varietate cu n dimensiuni numită varietate-bază a lui V (vezi p. 35).

Natura acestor definiţii lasă să se întrevadă că ideile lui É. Cartan joacă un mare rol în această geometrie. Pe de altă parte, aplicaţiile ei sînt numeroase în special în calculul variaţiilor (Dedecker).

ALTE CERCETĂRI. Cînd se studiază o entitate geometrică, se face în general un anumit număr de ipoteze, pe care le-am putea numi de comoditate. Astfel, în geometria infinitezimală se presupune în general că toate derivatele funcţiilor care intervin în studiu există şi sînt continue. Dar se poate pune problema de a se şti exact care sînt ipotezele de prisos; aceasta este o problemă mai dificilă şi ea a reţinut atenţia geometrilor.

Geometria finită a geometrului danez Juel ar putea fi caracterizată spunînd că ea constă în studiul proprietăţilor entităţilor algebrice care rămîn după ce se renunţă la algebricitate. În secolul al XX-lea această geometrie a fost dezvoltată în special de P. Montel, A. Marchaud şi O. Haupt.

S-a pus de asemenea problema proprietăţilor geometriei infinitezimale clasice care rămîn dacă nu se presupune existenţa anumitor derivate. Aceste probleme au fost studiate de A. Marchaud şi G. Bouligand, care a numit această teorie geometria infinitezimală directă. Ele au fost considerabil dezvoltate recent de şcoala rusă condusă de A. Alexandrov şi Pogorelov şi de şcoala americană a lui H. Busemann, care au abordat cu succes şi probleme de geometrie globală prin aceste metode „directe“.

CAPITOLUL VIII

Calculul probabilităţilor şi aplicaţiile sale

În cursul secolului al XX-lea, calculul probabilităţilor s-a reînnoit profund datorită în special introducerii ideilor fundamentale ale analizei, intervenţiei teoriei mulţimilor şi a măsurii lor, precum şi a utilizării curente a analizei funcţionale şi a spaţiilor generale.

Pentru a lămuri tabloul gîndirii probabiliste pe care îl vom expune, am considerat oportun de a prezenta, pentru diferite ţări, oamenii de ştiinţă de la care au venit impulsurile principale, dezvoltate apoi de elevii lor şi de probabiliştii din lumea întreagă.

CONDUCĂTORII ŞCOLII PROBABILISTE. În Rusia, şi apoi în U.R.S.S., cercetările în acest domeniu sînt foarte active. Lui P. Cebîşev şi A. Markov i-au urmat S. Bernstein, Slutsky, Hincin, Kolmogorov şi Petrovski. În Anglia, o şcoală de statistică este animată de K. Pearson, Egon S. Pearson, G. Udny Yule, R.A. Fischer (Sir Ronald) cu şoala de la Rothamsted şi Neymann, un vechi elev al lui S. Bernstein care a lucrat mult timp la Londra înainte de a se stabili în S.U.A. O altă şcoală, reprezentată de Ramsey, Jeffreys şi Keynes, se interesează de bazele calculului probabilităţilor şi de logica probabilului.

Puternica şcoală probabilistă şi de statistică din S.U.A., relativ recentă, publică în „Annals of Mathematical Statistics", revistă fondată în 1930. Principalii săi reprezentanţi, dintre care mulţi sînt originari din Europa, sînt A. Wald, R. von Neumann, R. von Mises, Neymann, G. Pólya, N. Wiener, Doob, Feller, Hille, Halmos, Wolfowitz.

Continuînd tradiţia lui Laplace şi Poincaré, şcoala franceză condusă de É. Borel, M. Fréchet, P. Lévy şi G. Darmois, este reprezentată şi de E. Halphen, Doeblin, Wehrlé şi de numeroşi probabilişti în plină activitate. Germania a consacrat mult timp eforturile sale statisticii economice, înainte de a dezvolta în mod strălucit statistica matematică. R. von Mises (teoria colectivelor) a profesat în Turcia, apoi s-a stabilit în S.U.A. Numele lui F. Cantelli, C. Gini şi B. de Finetti dovedesc vitalitatea şcolii italiene. În ţările scandinave trebuiesc menţionaţi H. Cramer şi H. Wold în Suedia, R. Frisch în Norvegia, în timp ce în Europa centrală, cehii Hostinsky şi Spacek, maghiarul Rényi şi românii O. Onicescu şi Gh. Mihoc joacă un rol foarte activ, iar în India, P.C. Mahalonobis realizează o operă de valoare.

AXIOMATIZAREA CALCULULUI PROBABILITĂŢILOR. Pînă la începutul secolului al XX-lea, noţiunea însăşi de probabilitate era destul de vagă. Lui É. Borel i se datorează definiţia sa riguroasă, bazată pe măsura mulţimilor. Măsura, funcţie aditivă de mulţime este de fapt o ponderare, printre toate cele ce se pot concepe. Această definiţie a condus la explicitarea axiomaticii admise implicit pînă atunci. Prezentarea riguroasă a lui Kolmogorov *(Grundbegriffe der Warscheinlichtekeitsrechnung*, Berlin, 1933) este luată în general ca bază.

Pe o mulţime fundamentală de posibilităţi, o anumită pondere, de exemplu o distribuţie de mase, creează o măsură (masa totală) pentru o familie largă de submulţimi. Această distribuţie de mase trebuie aleasă dintr-o infinitate de distribuţii posibile, iar problema cea mai importantă este de a o adapta cel mai bine la problema pusă. Se întîmplă ca această ponderare să fie uniformă şi, de exemplu, ca mulţimea fundamentală finită să aibă ca elemente mase egale. Dar totdeauna este foarte important de a se înţelege corect ce reprezintă această mulţime fundamentală, ce reprezintă submulţimile şi de ce s-a ales o astfel de ponderare; aceasta o arată aplicaţia eronată făcută de Poincaré la o problemă de joc de cărţi (vol. III, 1, p. 96).

EVOLUŢIE DETERMINISTĂ ŞI EVOLUŢIE ALEATOARE. Mecanică clasică şi mecanica cerească construiesc, plecînd de la lumea exterioară, modele deterministe, astfel încît dacă poziţia, vitezele şi cîmpul de forţe sînt presupuse cunoscute la un moment dat, soluţia ecuaţiilor diferenţiale determină în mod rigid viitorul.

Un astfel de model este foarte prost adaptat la evoluţia unui individ, a unei populaţii, a unei situaţii economice. Dacă un individ are o parte din evoluţia sa comandată de particulele sale ereditare, el este supus şi unui cîmp aleator de influenţe alimentare, psihologice, unui cîmp de radiaţii ce pot să-i provoace modificări în dezvoltare, la mutaţii ereditare etc.

O populaţie se dezvoltă prin uniri, naşteri, decese, migraţii. Dar printr-o simplificare excesivă se poate traduce această dezvoltare prin ecuaţii diferenţiale sau integrale. Acelaşi lucru este valabil şi pentru o situaţie economică. Fără îndoială, i se poate suprapune un fel de ritm analog celui al unui sistem oscilant, dar hazardul joacă un rol considerabil, iar sistemul oscilant, după cum a remarcat G.U. Yule, urmat de R. Frisch, este supus la şocuri aleatoare care îi modifică evoluţia. Astfel, se poate considera că în fiecare moment sistemul analizat are o lege de probabilitate instantanee care se substituie imaginii deterministe şi dă un fascicul posibil pentru urmărirea traiectoriei observate.

O evoluţie meteorologică va fi, în acelaşi mod, sub dependenţa unor fenomene aleatoare, cu consecinţe uneori importante. La fel, sosirile succesive ale electronilor într-un conductor, care produc zgomotul de fond, scoate în evidenţă un model de şocuri aleatoare.

Toate acestea conduc la un fel de mecanică aleatoare, care include mecanica clasică, pentru studiul dezvoltărilor în timp, şi la o noţiune foarte generală de trecere a unui sistem dintr-o stare într-o altă stare posibilă.

Amintim două exemple de evoluţie aleatoare, studiate de H. Poincaré: amestecul cărţilor de joc şi difuzia unui lichid într-un lichid cu o culoare diferită (vezi vol. III, 1, pp. 101—102) L. Bachelier a arătat că în ultima problemă intervine ecuaţia cu derivate parţiale a propagării căldurii, numită ecuaţia lui Fourier. G. Pólya a arătat că aceste probleme de difuzie pot fi tratate printr-o trecere la limită pornind de la o evoluţie aleatoare, prin salturi discontinue, a unui mers la întîmplare pe o dreaptă, sau într-un spaţiu cu două sau trei dimensiuni. Un astfel de mers la întîmplare se prezintă în studiul cîştigului total al unui jucător, sau mai general în studiul punctului reprezentativ al extragerilor în serie dintr-o urnă.

Încă din secolul al XIX-lea dezvoltarea statisticii condusese la introducerea unor entităţi aleatoare foarte generale (vol. III, 1, pp. 100—101). De fapt, nu există o limită în complexitatea acestor entităţi aleatoare care se prezintă chiar în cazurile cele mai simple.

LEGĂTURI STOCHASTICE. Am prezentat în vol. III, 1, p. 87, originea teoriei corelaţiei. Noţiunile extrem de generale introduse în această teorie permit analiza legăturilor stochastice interioare ale elementului aleator considerat şi se aplică elementelor aleatoare cu n variabile şi elementelor aleatoare generale. Un memoriu celebru al lui R. A. Fisher studiază legătura ce există între recolta de grîu de la Rothamsted, ca variabilă aleatoare, şi caracterul ploii din timpul unui an ca funcţie aleatoare.

În cursul acestui secol noţiunea de legătură stochastică a căpătat o generalitate mult mai mare, iar posibilităţile sale explicative au crescut considerabil. Din imensa varietate posibilă de legături interne, un caz foarte general este cel în care, într-o evoluţie aleatoare, legea de probabilitate a viitorului depinde de întregul trecut.

Dacă variabila aleatoare posedă o infinitate numărabilă de valori, legea de probabilitate va depinde de toate valorile luate anterior. În această lege condiţională, sau probabilitate de trecere, influenţa valorilor anterioare poate descreşte şi tinde către zero cînd k creşte; ea se poate de asemenea anula pentru o îndepărtare suficientă; ea poate încă să depindă numai de valoarea precedentă, sau să fie independentă de tot trecutul.

Anumite cazuri sînt deosebit de interesante şi au fost foarte mult studiate:

a) Cînd legea de probabilitate nu se schimbă dacă t se schimbă în $t + k$ (k oarecare), procesul se numeşte staţionar sau lanţ staţionar.

b) Dacă influenţa se mărgineşte la valoarea de la care se porneşte, trecutul nu intervine decît prin rezultatul pe care l-a furnizat: aceasta este dependenţa în lanţul lui Markov care a condus la numeroase studii, dintre care unele au dat rezultate foarte frumoase.

c) Ne putem mulţumi de asemenea cu ipoteze foarte generale, dar care se realizează frecvent, cum ar fi existenţa momentului de ordinul al doilea. În ultimul caz, cel al funcţiilor aleatoare de ordinul al doilea, se ajunge la definirea unor funcţii care joacă un rol esenţial şi au proprietăţi interesante; de exemplu, covarianţele, care, în cazul proceselor staţionare, se numesc funcţii de corelaţie.

LEGILE NUMERELOR MARI. ROLUL LEGILOR LUI LAPLACE. Frecvenţa f_n converge în probabilitate către p şi această convergenţă are o probabilitate egală cu unitatea. Acest ultim rezultat (Kolmogorov) se extinde, ca şi primul, la convergenţa către $E\ (X)$ a valorii medii $(X_1 + X_2 + \ldots + X_n)/n$.

Kolmogorov a demonstrat o teoremă foarte puternică asupra şirurilor de variabile aleatoare independente: „dacă o proprietate A este astfel încît schimbarea unui număr finit arbitrar dintre X_i nu schimbă cu nimic faptul de a avea sau nu proprietatea A, atunci probabilitatea $P(A)$ nu poate fi decît zero sau unu".

Sumarea erorilor elementare independente furnizează de asemenea o variabilă aleatoare S_n. Variabila aleatoare transformată $[S_n - E(S_n)]\sigma_n$ urmează la limită o lege a lui Laplace.

Leapunov (în 1901) şi apoi P. Lévy (1937) şi Hincin au studiat foarte complet această tendinţă spre legea lui Laplace a unei sume de variabile aleatoare independente. Astfel, în cazuri de foarte mare importanţă practică, legea descoperită de Laplace poate fi folosită ca lege limită.

LEGILE LOGARITMULUI ITERAT. Suma S_n poate depăşi oare o anumită funcţie de n, $\varphi(n)$? Probabilitatea π ca mulţimea infinită de inegalităţi $S_n \leqslant \leqslant \varphi(n)$ să fie satisfăcută nu poate fi decît zero sau unu (Kolmogorov).

De aici rezultă existenţa a două clase de funcţii: o clasă superioară pentru care $\pi = 1$ şi o clasă inferioară pentru care $\pi = 0$.

S-a demonstrat că funcţia $\varphi(n) = C\sigma_x \sqrt{2n \log . \log n}$ este de clasă superioară dacă $C \leqslant 1$ şi de clasă inferioară dacă $C > 1$, iar S_n este sumă de X_i care satisfac aceeaşi lege (legea logaritmului iterat). Pentru clasa superioară, depăşirea nu are loc decît de un număr finit de ori, în timp ce pentru clasa inferioară depăşirea are loc de un număr infinit de ori, sau mai de grabă aceste rezultate sînt aproape sigure (probabilitatea lor este aproape egală cu unu). Subzistă deci, în acest caz de tendinţă a legii de probabilitate spre legea lui Laplace, o lege a logaritmului iterat pentru abateri. Rezultatele au fost considerabil generalizate.

METODE ANALITICE NOI. Trebuie să amintim mai întîi utilizarea funcţiei caracteristice (f.c.) a unei legi de probabilitate. Aceasta este transformata lui Fourier a funcţiei de distribuţie (f.d.).

Fie $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{itx} dF(x) = E(e^{itx})$, în care variabila t este reală. Laplace a folosit mult funcţia caracteristică, în special pentru variabilele aleatoare întregi în care ea devine un polinom sau o serie întreagă în e^{it}. Cauchy (1853) a definit cu precizie funcţia caracteristică $\int e^{itx} f(x)\, dx$ în cazul unei densităţi şi a aplicat-o la legea remarcabilă, numită a lui Cauchy, în care $f(x) = (1/\pi)\,[(1/(1+x^2)]$.

H. Poincaré a dat (1912) definiţia şi denumirea funcţiei caracteristice, dar el a considerat $E\ (e^{tx})$ fără a preciza că t trebuie să fie pur imaginar. El a arătat că funcţia caracteristică defineşte legea de probabilitate prin transformata lui Fourier.

Printr-un studiu aprofundat şi foarte abil, P. Lévy a arătat toată importanţa funcţiei caracteristice, demonstrînd riguros teoremele limită şi, în particular, existenţa unei limite pentru funcţia de distribuţie, cînd şi funcţia caracteristică are una. El a rezolvat astfel în mod exhaustiv problema lui Laplace-Leapunov, a definit legile infinit divizibile şi a găsit expresia generală a funcţiei lor caracteristice. P. Lévy a introdus de asemenea un instrument de lucru foarte util în problemele de convergență, funcția de concentrație, și a stabilit o inegalitate fundamentală care i se atașează.

Tot lui i se datorește enunțul unei teoreme (1935) demonstrată apoi de H. Cramer: dacă două variabile independente au o sumă a cărei lege de probabilitate este cea a lui Laplace, fiecare dintre ele are o lege a lui Laplace. Acest rezultat fundamental stă la baza a numeroase teoreme foarte elegante, cunoscute uneori sub denumirea de ciclul lui Lévy-Cramer.

Tot prin folosirea funcției caracteristice, G. Darmois a demonstrat, fără nici o ipoteză, reciproca teoremei (căreia R.A. Fisher i-a arătat generalitatea și fecunditatea) asupra funcțiilor liniare de variabile aleatoare independente, care rămîn independente. Această proprietate, care caracterizează variabilele aleatoare laplaciene, a permis lui E. Mourier completarea definiției elementelor aleatoare laplaciene într-un spațiu a lui Banach.

O importantă notă a lui Loeve asupra funcțiilor aleatoare de ordinul al doilea a arătat că covarianțele sînt în strînsă legătură cu funcțiile caracteristice cărora le furnizează numeroase proprietăți.

Importantele rezultate asupra aritmeticii legilor de probabilitate obținute de P. Lévy, Hincin, G. Pólya, D. Dugué, sînt prezentate în tratatele publicate de P. Lévy (1937) și de Dugué (1958).

DERIVATE ȘI INTEGRALE STOCHASTICE. Amintim formele cele mai importante de convergență stochastică (v. vol. III, 1, pp. 92—93): convergența în repartiție (aici se aplică teoremele precedente ale lui P. Lévy), convergența în probabilitate, convergența în medie, convergența aproape sigură (a.s.) și, în sfîrșit, convergența aproape complet sigură (a.c.s.), mai restrictivă decît precedenta și care o implică (teoremele lui Borel și Cantelli privitoare la convergența a.c.s.).

În legătură cu legea numerelor mari, de circa 30 de ani se dezvoltă o teorie a celor mai mari și a celor mai mici valori, între care se studiază comportarea aleatoare (în probabilitate, aproape sigură, aproape complet sigură) a mărimilor $m_n/f(n)$ și $M_n/f(n)$, $f(n)$ fiind o funcție de numărul elementelor unui eșantion aleator; M_n și m_n sînt, respectiv, cel mai mare și cel mai mic dintre cele n rezultate aleatorii ale eșantionului. Acestui domeniu de studii îi sînt asociate numele lui Gnedenko, Gumbel și Geffroy.

Toate limitele stochastice pot fi deci asociate la diferite forme de convergență.

Derivabilitatea se definește pornind de la o expresie de tipul $G(t, \Delta t) = [X(t + \Delta t) - X(t)] / \Delta t$ în care se face Δt să tindă către 0: dacă G tinde spre o valoare aleatoare $Y(t)$, ea este derivata lui $X(t)$ pentru valoarea t. Derivatele intervin în particular în condițiile de convergență în medie pătratică (m.p.); dubla derivabilitate în medie pătratică joacă un rol fundamental în mecanica aleatoare. La fel se definește integrabilitatea (convergența în probabilitate, m.p., a.s.). Bachelier a observat că această problemă (în m.p.) este legată de teoria ecuațiilor diferențiale și a ecuațiilor cu derivate parțiale; condițiile sînt guvernate de ecuațiile lui Kolmogorov.

METODA MONTE CARLO. S-a încercat de mult timp studiul numeric al anumitor probleme pentru care nu există o soluție teoretică foarte avansată.

Astfel a fost cazul distribuţiei coeficientului de corelaţie parţială înainte ca R.A. Fisher să-i găsească o soluţie simplă şi completă (Métron, 1924). Bispham a efectuat acest studiu, în oarecare măsură experimental, pe un mare număr de valori (mai multe sute), obţinînd o bună concordanţă pentru coeficientul ordinar de corelaţie, Dar, după cum se ştie în prezent, diferenţa nu ar putea fi vizibilă decît pe eşantioane foarte mici; de asemenea, înainte de a începe studii importante de acest gen trebuie examinată sensibilitatea metodei.

De asemenea, distribuţia celebrei variabile $t = \dfrac{x - m}{x/\sqrt{n}}$, unde s este estimaţia lui σ, care rezultă foarte uşor din considerentele elegante de geometrie n dimensională ale lui R.A. Fisher a fost anterior „ghicită“ de Student.

Problemele ce se studiază în prezent sînt mult mai dificile. Printre cele mai simple, figurează integralele multiple (de exemplu cu 100 de dimensiuni) care reprezintă hipervolume, fracţii ale hipercubului de latură unitate. Dacă se aleg N puncte la întîmplare, şi dacă se examinează cîte sînt interioare volumului, fie ele în număr de n, atunci n/N reprezintă o evaluare a volumului. Un simpoziom special (*Monte Carlo method...*, Washington, 1951) a studiat diverse exemple (fizică, matematică etc.) la care se adaugă zilnic rezultate noi.

Un întreg domeniu, în acelaşi timp foarte abstract şi foarte concret, se deschide utilizării numerelor la întîmplare (*random numbers*), mulţumită forţei calculului automat. Astfel, se pot găsi soluţii numerice la probleme înaintea cărora mai înainte eram cu totul neputincioşi.

TEORIA ESTIMAŢIEI. Problema fundamentală a teoriei estimaţiei este: ce se poate spune despre structura unei urne sau, mai general, a structurii unei populaţii pornind de la observaţii care constituie un eşantion aleator E? Problema constă în a găsi o funcţie E (de asemenea aleatoare) a acestui eşantion şi care să poată avea o probabilitate reală de a fi apropiată de valoare necunoscută. Bazele acestei teorii se datoresc lui Sir Ronald Fisher (*Theory of statistical estimation*, 1925).

Să considerăm de exemplu legea lui Laplace în care trebuiesc evaluaţi cei doi parametri m şi σ. Avem un eşantion $x_1, x_2, \ldots, x_n$ de observaţii. Trebuie să avem două funcţii ale eşantionului şi să notăm $m' = (x_1 + x_2 + \ldots + x_n)/n$, $s^2 = \sum(x_i - m')^2 / (n - 1)$. Aceste expresii sînt naturale deoarece dacă $E(s^2) = \sigma^2$, aleatoarea s^2 este repartizată deci în jurul unei medii care este tocmai necunoscuta. Studiul lui m' şi a lui s^2 arată că aceste estimaţii sînt repartizate într-adevăr în jurul lui m şi σ^2, cu convergenţa în probabilitate. Dar, pot exista şi alte estimaţii ale căror avantaje trebuie comparate.

REZUMATE EXHAUSTIVE. Observarea eşantionului $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ ne poate furniza date asupra parametrului necunoscut (pe care îl presupunem unic) deoarece legea de probabilitate a eşantionului depinde de acest parametru. Astfel, gruparea punctelor de lovire ale unei puşti depind de proprietăţile armei şi ne pot furniza informaţii asupra acesteia.

Dar construirea diverselor funcţii ale eşantionului (de exemplu, media) epuizează sau nu capacitatea de informaţie asupra lui E?

În cazul deosebit de important în care se introduce pentru media T denumirea de *rezumat exhaustiv*, această medie are o superioritate decisivă asupra oricărei alte funcţii a eşantionului.

R.A. Fisher a semnalat proprietăţi remarcabile pe care trebuie să le aibă rezumatele exhaustive. Dacă n_1 observaţii au un rezumat R_1, iar n_2 observaţii un rezumat R_2, ansamblul are un rezumat R care este funcţie numai de R_1 şi R_2.

Forma necesară pentru existenţa unui rezumat exhaustiv (G. Darmois, 1935) este particulară. Totuşi, ea se realizează pentru legile de probabilitate cele mai folosite (legea lui Laplace, legea lui Poisson). Majoritatea estimaţiilor au o lege laplaciană cînd n creşte indefinit. Pe de altă parte, se caută să li se confere proprietăţi simple şi utile.

1) Estimaţia T a unui parametru θ depinde de numărul n al observaţiilor. Ea este convergentă, dacă T converge în probabilitate către 0. În plus, se poate întîmpla ca valoarea medie $E(T)$ să fie egală cu 0. O asemenea estimaţie se numeşte convergentă şi fără deplasare.

2) Dacă estimaţia are o comportare limită laplaciană, este natural de a-i căuta estimaţia de dispersie minimă.

LIMITE DE INCERTITUDINE. R.A. Fisher a afirmat, ceea ce apoi s-a demonstrat riguros, că orice estimaţie are în mod necesar un reziduu de incertitudine. Aceste probleme au fost studiate prin 1940 şi s-au obţinut rezultate importante de Cramer şi Rao, Fréchet şi Darmois; o estimaţie fără deplasare are abaterea sa medie pătratică limitată inferior; limita este atinsă în cazurile rezumatelor exhaustive.

MAXIMUL VEROSIMILITĂŢII. Probabilitatea unui eşantion este $P(E, \theta)$. Considerată ca funcţie de θ, Fisher a numit-o verosimilitate (*likelihood*) şi a propus adoptarea ca estimaţie a lui θ a valorii (presupusă unică) care dă asemănării valoarea maximă. Ea furnizează automat estimaţiile şi rezumatele exhaustive, cînd acestea există.

S-a demonstrat, în anumite condiţii foarte generale, că ea este corectă, laplaciană la limită şi asimptotic exahustivă.

G. Darmois (1952) a introdus noţiunea de *elipsoid de informaţie*. O estimaţie reprezintă o variabilă aleatoare (cu trei dimensiuni) care are un *elipsoid al dispersiilor*. Acest al doilea elipsoid, în mod necesar interior primului, se confundă cu el în cazurile exhaustive.

TESTELE IPOTEZELOR STATISTICE. Reluînd teoria testelor ipotezelor statistice, Neymann şi E.S. Pearson au introdus noţiunile importante şi utile de erori de primul şi al doilea ordin şi de puterea unui test. Aceste noţiuni, introduse datorită definiţiei prealabile, în spaţiul observaţiilor a unui domeniu critic corespunzător unei mici probabilităţi, s-au dovedit extrem de fecunde.

În general, noţiunea de ansamblu critic asociază poziţiei unui punct (observaţii) într-un spaţiu, o concluzie. Această concluzie, dacă este definitivă, conduce la adoptarea sau respingerea unei ipoteze. Dar se poate considera că nu sîntem suficient de lămuriţi că este necesar să adăugăm o informaţie suplimentară. În acest caz apare noţiunea de mers la întîmplare în vederea unei decizii.

Se pare că aceasta a fost calea urmată de A. Wald care a aprofundat testele ipotezelor statistice pe care le-a aplicat concret la controlul calităţii. (*Statistical decision fonctions*, 1950). Teoria matematică a funcţiilor de decizie şi teoria generală a deciziei se numără printre subiectele de cercetare şi de lucru cele mai animate în momentul de faţă.

CONTROLUL CALITĂŢII. Trebuie semnalată o aplicaţie, în general foarte simplă, dar de o importanţă economică şi socială excepţională. Piesele fabricate în condiţiile cele mai severe de reglaj şi de control nu scapă totuşi unei variabilităţi care, ea însăşi, este supusă la legi statistice. O fabricaţie comportă un procent stabil de piese calificate ca fiind defecte, adică neavînd calitatea impusă. Această proporţie defineşte structura statistică a unei fabricaţii: ea reprezintă controlul prin atribute. Dacă este vorba de dimensiuni fluctuante măsurate, există o distribuţie determinată a frecvenţelor. Ceea ce se urmăreşte este determinarea pe un eşantion a acestor structuri. Pentru atribute, un eşantion va urma distribuţia binomului, sau dacă proporţia exemplarelor defecte este mică, o lege a lui Poisson.

Pentru o distribuţie a frecvenţelor care este în general laplaciană, se caută a se evalua media şi abaterea tip şi a se supraveghea stabilitatea lor. Se pot pune astfel în evidenţă un dereglaj al fabricării şi corecta rapid o producţie excesivă de obiecte defecte. Un astfel de control, reprezentînd un şir de decizii este tributar metodelor secvenţiale de acumulare a informaţiei (A. Wald, 1950).

REVENIRE LA PROCESELE STOCHASTICE. Dependenţa în lanţ Markov se prezintă ca o generalizare naturală a interdependenţei. Într-un astfel de proces, evoluţia aleatoare pornind de la momentul t nu depinde decît de starea la momentul t şi nu de modul în care s-a ajuns aici. De subliniat că un fenomen analog se întîlneşte în propagarea undelor.

Fie un sistem $\sum$ avînd un număr finit r de stări posibile, $E_1, E_2, \ldots, E_r$. La momentul zero, Σ ia la întîmplare una dintre aceste stări, ceea ce furnizează o lege de probabilitate iniţială. La momentele determinate succesive $t_1, t_2, \ldots, t_n$, $\sum$ îşi schimbă starea în mod aleator. Fie C_i^n evenimentul ca $\sum$ să ia starea E_i la momentul t_n: prin ipoteză, probabilitatea C_i^{n+1}, condiţionată de toată istoria precedentă, nu depinde decît de C_j^n, iar pentru un lanţ constant, nu depinde de n, reprezentînd deci un număr p_{ij}, adică probabilitatea de trecere de la E_i la E_j. Proprietăţile lui p_{ij} au fost clarificate odată cu studiul probabilităţii p_{ij}^n de trecere de la E_i la E_j într-un număr n de probe.

Dacă funcţia aleatoare $X(t)$ ia valoarea x la momentul t, probabilitatea condiţională a lui $X(\tau) < \xi$, adică funcţia de repartiţie condiţionată are expresia $F(t, x; \tau, \xi)$ de densitate $f(t, x; \tau, \xi)$.

Ecuaţiile lui Chapman-Kolmogorov şi Smoluchowski joacă un rol esenţial în această teorie. Studiul funcţiilor de densitate a fost realizat de Kolmogorov şi Feller.

Pentru anumite valori particulare ale funcţiilor limită, a căror existenţă este presupusă, se obţine ecuaţia lui Fourier, cu soluţia sa fundamentală de tip laplacian, cunoscută de mult timp. Funcţia aleatoare care corespunde acestei soluţii este cea a lui Wiener-Lévy, numită a mişcării browniene, datorită faptului că imaginea elegantă care rezultă din ecuaţiile considerate este adesea asociată acestei probleme fizice de către matematicieni. De fapt aceasta din urmă este mult mai complicată şi unele studii (G. Malécot, 1959) încearcă să construiască o teorie mai bine adaptată realităţii fizice.

DEMOGRAFIE GENERALĂ STOCHASTICĂ. Populaţiile umane oferă fără îndoială exemplul cel mai complet de ceea ce am numit mulţimi dinamice, adică mulţimi care evoluează prin naşteri, decese şi migraţii. Este deci natural să fie studiate prin metodele proceselor stochastice discontinue. Dacă înlăturăm migraţiile, vom avea un lanţ Markov, care se poate presupune constant în primă aproximaţie.

Dar această aplicaţie nu constituie decît o mică parte a ansamblului. Există şi o evoluţie a populaţiilor de particule care pot apărea, dispărea, şi sînt supuse migraţiilor.

În acest spirit de demografie generală, G.U. Yule, care a introdus numeroase idei remarcabile şi profunde şi a efectuat studii statistice atît de originale, a prezentat în 1924 o teorie matematică a evoluţiei bazată pe lucrările lui J.C. Willis (*Age and area*, 1924), în care el găseşte prin metode simple, expresia cu totul nouă a unei evoluţii aleatoare.

În 1927, în legătură cu petele solare şi cu „numărul lui Wolf“, Yule a dezvoltat ideea fecundă a mişcării naturale, periodice în perioada de calm, dar perturbată de şocuri aleatoare. Această remarcabilă concepţie a fost aplicată în 1933 de R. Frisch la studiul ciclurilor şi proceselor stochastice în evoluţia economică. Demografia generală a particulelor a fost expusă de N. Arley asupra exemplului radiaţiilor atomice. D.Kendall (1948-51) a studiat de asemenea creşterea populaţiilor şi teoria cozilor (aşteptării), în timp ce G. Malécot (1949) studia procesele stochastice ale geneticii. W.Feller, a cărei operă este atît de importantă, a reluat din punct de vedere stochastic cercetările lui V. Volterra asupra „luptei pentru viaţă şi evoluţiei populaţiilor“ . În acest studiu el a folosit ecuaţiile cu derivate parţiale ale lui Kolmogorov, în timp ce Bartlett a recurs la funcţia caracteristică supusă unei ecuaţii cu derivate parţiale echivalentă celei a lui Kolmogorov.

MECANICĂ STATISTICĂ MODERNĂ. O reînnoire deosebit de profundă a metodelor acestei discipline este în curs. Ea constă în folosirea hotărîtă a metodelor generale ale calculului probabilităţilor, a căror putere şi fecunditate au fost în mod strălucit evidenţiate de A. Hincin (Bazele matematice ale statisticii mecanice). Lucrarea *Méthodes mathématiques de la mécanique statistique* (1958) a lui Blanc-Lapierre, Tortrat şi Casal, prezintă un studiu general amintind lucrările lui Fowler şi Hincin.

O largă utilizare a funcţiilor caracteristice şi a teoremelor limită ale calculului probabilităţilor permite rezolvarea problemelor celor mai importante, în particular studiului comportării asimptotice pe care numărul foarte mare de particule îl introduce în mod obligatoriu.

ERGODISM. Problemele amestecului cărţilor de joc şi ale difuziei, studiate de Poincaré (vezi vol. III, 1, pp. 101—102), sînt două cazuri de ergodism. Primul se referă la o situaţie (stare permanentă limită) în care probabilitatea diferitelor permutaţii este aceeaşi pentru toate, independent de structura iniţială a jocului. În al doilea caz, există de asemenea o stare permanentă, staţionară, independentă de amestecul iniţial al lichidelor. O problemă este cea a valorilor medii.

Media naturală, speranţa matematică, va fi în mod normal o funcţie de timp, reprezentînd în fiecare moment în jurul cui au loc fluctuaţiile. Mărimea aleatoare $X(t)$ va fi notată $X(t, \alpha)$ pentru a indica că la fiecare alegere a unui eveniment elementar α corespunde o anumită dezvoltare în funcţie de timp. O medie luată de-a lungul unei „traiectorii a sistemului“ va fi media în raport cu timpul. Dacă ea există, aceasta va fi în general o variabilă aleatoare. Cazurile importante sînt cele în care cele două medii sînt aceleaşi.

MECANICĂ ALEATOARE. Mecanica şi fizica fluidelor, au înregistrat succese foarte mari. Dar atmosfera, care totuşi este un gaz, refuză să se lase tratată prin metodele hidrodinamicii. După cum s-a exprimat Ph. Wehrlé (*L'univers aléatoire*, 1957), ştiinţa noastră despre fluide a fost concepută în mod expres pentru o scară umană şi pentru condiţiile de laborator, cu alte cuvinte pentru fluidele „domestice“ conţinute în recipiente, purificate de orice agitaţie şi în general în „echilibru“. Totul se petrece ca şi cum matematicile capabile de aplicaţii la medii continue ar fi special adaptate la fluide delimitate de incinte şi de pereţi, deoarece integrarea lor comportă cunoaşterea condiţiilor la limită.

Fluidul real se acomodează deja imperfect acestei mecanici, dar neadaptarea hidrodinamicii clasice la studiul atmosferei este vizibilă. Acest mediu este în adevăr fără limite definite. La scara grandioasă a meteorologiei sinoptice, el este animat de mişcări dezordonate şi parcurs de perturbaţii de toate mărimile. O remarcabilă echipă a abordat această problemă: Dedebant şi Wehrlé, Giao, Scherechewsky, Moyal, Bass etc.

Aceste probleme prezintă un mare interes teoretic, deoarece par să impună un punct de vedere cu totul nou al unui univers populat cu corpuscule aleatoare. Dar ele au şi o imensă importanţă practică. Progresele în prevederea timpului, ca îngheţul şi dezgheţul, mareele, uraganele, ar cruţa multe suferinţe şi vieţi umane şi de asemenea ar economisi sume imense.

Mijloacele de observaţie, indicate de Le Verrier, pot acum să se extindă uşor la oceane, la altitudini deja considerabile şi la distanţele la care se mişcă sateliţii artificiali. Se poate deci conta pe o foarte mare îmbogăţire a informaţiei.

Studiul teoretic a condus la rezultate foarte generale. El a arătat în particular că spaţiul-timp foloseşte corpuscule la diverse scări (etaje suprapuse ale perturbaţiilor) şi că există un mare avantaj de a înzestra acest spaţiu-timp aleator cu dubla derivabilitate în medie pătratică. Interacţiunea indivizilor fizici se traduce printr-o dependenţă statistică în corelaţie. Evoluţia ar avea loc prin slăbirea acestor dependenţe care permite trecerea energiei cinetice de la un nivel de perturbaţii la nivelul inferior. Fără îndoială, sîntem încă departe de soluţiile decisive, dar ne găsim în prezenţa unui efort remarcabil spre realizarea de progrese în probleme fundamentale.

ASTRONOMIA. Lumea stelelor, materia în care se scaldă, viaţa minunată a radiaţiilor, a particulelor atît de diferite, care se nasc, mor, se ciocnesc, conduc la o înlănţuire de studii în care statistica pătrunde din ce în ce mai mult. Punctele de vedere probabiliste par destul de bine adaptate la aceste probleme şi în special la structura şi la mişcările universului stelar, precum şi la aventurile particulelor, fotonilor, electronilor, radiaţiilor cosmice, care parcurg spaţiul într-un proces stochastic continuu.

Progresele teoretice şi instrumentale au permis atît studiul braţelor Galaxiei noastre şi sursele de emisie ale radiaţiilor şi particulelor, cît şi reînnoirea problemei rotaţiei Pămîntului.

Metodele statistice au clarificat studiul cîmpului gravitaţional al Galaxiei noastre, al mişcărilor de rotaţie, al componentei cîmpului perpendiculară pe planul galactic care precizează mişcările sinusoidale sub acest plan.

În cursul unei sesiuni (1958) a Institutului Internaţional de Statistică, un colectiv de astronomi, probabilişti şi statisticieni, înfiinţat şi animat de J. Neymann, a prezentat modele noi pentru studiul marilor ansambluri ale Galaxiei şi problemele statistice ale astrofizicii: rotaţia Galaxiei (D.E. Bartan, F.N. David), studiul statistic al galaxiilor (Moyal, Miss Scott, Shane), interpretarea observaţiilor radioastronomice prin metodele statistice (Ryle şi Sheuer).

Diferite simpozioane ale Uniunii Astronomice Internaţionale (Cleveland, 1951; Moscova, 1958 etc.) au fost consacrate studiului celebrelor diagrame ale lui Hertzprung-Russell care exprimă existenţa legilor statistice prin prelungiri ale norilor cosmici; evaluările distanţelor pe baza luminozităţii, teoria statistică a distribuţiei galaxiilor, distanţele lor şi expansiunea Universului au subliniat intensitatea şi vastitatea legăturilor dintre astronomie şi statistică.

Putem fi siguri că, în prezenţa unor probleme ce nu se vor epuiza prea curînd, metodele statistice vor aduce un ajutor eficace şi vor primi un puternic impuls.

PLANIFICAREA EXPERIENŢELOR. Scopul urmărit de experimentatori este de a obţine pentru probleme de biologie, de agricultură, de cercetări industriale etc. informaţie optimă într-un timp dat şi la un preţ dat. Ideile fundamentale şi impulsurile, în această direcţie, ca şi rezultatele teoretice necesare, se datoresc mai ales lui R.A. Fisher. Chemat la staţia experimentală de la Rothamsted de către Sir John Russel în 1919, R.A. Fisher a adus o adevărată revoluţie în metodele de obţinere a rezultatelor şi de interpretare ştiinţifică a lor.

În lucrarea sa *Contributions to mathematical statistics* (1926), se exprimă această idee fundamentală: „experienţele cuprinzătoare şi complexe au o eficacitate mult mai mare decît experienţele simple. Nici un aforism nu este mai des repetat în legătură cu experimentarea agricolă decît cel care afirmă că trebuie să-i punem naturii puţine probleme deodată sau, în cel mai rău caz, chiar una singură. Autorul este convins că aceasta reprezintă o eroare totală. Natura va răspunde cu plăcere la un chestionar logic stabilit cu grijă şi chiar dacă îi vom pune o singură întrebare, ea va refuza să răspundă înainte ca o alta să fie rezolvată“.

Rezultatele unei experienţe sînt variabile. Noi trebuie să fim capabili de ale aplica metode probabilistice care să conducă la evaluarea valorilor medii şi a dispersiilor; acestea din urmă sînt necesare pentru aplicarea testelor de semnificaţie (adică de a stabili dacă într-o ipoteză H_0 astfel de rezultate ar putea să se datorească hazardului). În plus, sîntem obligaţi să analizăm apariţia rezultatelor astfel încît să eliminăm sau să reducem anumite cauze de erori sistematice.

Din aceste motive diferite, R.A. Fisher a creat un ansamblu de metode: analiza varianţei şi planurile factoriale pentru studiul în ansamblu al unui grup de factori.

Iată un exemplu: trei factori trebuie studiaţi, fiecare la două nivele, A_1A_2, B_1B_2 şi C_1C_2. Se vor forma cele $8 = 2^3$ combinaţii:

$A_1B_1C_1$, $A_1B_2C_1$, $A_1B_1C_2$, $A_1B_2C_2$, $A_2B_1C_1$, $A_2B_2C_1$, $A_2B_1C_2$ şi $A_2B_2C_2$.

Se vede că A_1 se repetă de patru ori, ca şi B_1 şi C_1. La fel A_2, B_2, C_2. Cuplul A_1B_1 apare de două ori etc. Datorită acestor repetări se pot obţine dispersiile; deci se poate evalua eroarea posibilă. Vom spune că blocul cu 8 parcele realizează un plan factorial.

R.A. Fisher s-a văzut condus să folosească ceea ce se credea că sînt doar jocuri matematice, ca de exemplu pătratele latine ale lui Euler, la care fiecare linie şi fiecare coloană conţine o literă numai o dată.

Algebra pură (corpurile lui Galois) joacă în aceste probleme un rol important (vezi D. Dugué, *Traité d'algèbre aléatoire*). Anumite proiecte sînt destinate micşorării numărului de experienţe. Blocurile incomplete, echilibrate, fac apel la geometria proiectivă; în această direcţie s-au obţinut teoreme de algebră extrem de elegante (Schutzenberger).

INFORMAŢIA MĂSURABILĂ. Scopul ştiinţei constă în acumularea de cunoştinţe şi progresele ce se pot obţine prin observaţii şi experienţe. În teoria estimaţiei am văzut ce informaţii aduce asupra unui parametru θ un eşantion care urmează legea de probabilitate în care figurează θ.

R.A. Fisher a introdus o noţiune foarte profundă pe care o putem numi capacitatea de informare a unei legi de probabilitate asupra unuia sau a mai multor parametri.

Fie o lege cu un parametru θ, de densitate $f(x;\theta)$; avem $\int f(x,\theta)\,dx = 1$ oricare ar fi θ. Rezultă de asemenea că:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial f}{\partial \theta}\,dx = \int_{-\infty}^{+\infty} f\left(\frac{1}{f}\,\frac{\partial f}{\partial \theta}\right) dx = 0, \quad \text{sau} \quad E\left[\frac{\partial \log f}{\partial \theta}\right] = 0.$$

Mărimea introdusă de Fisher şi care dictează asupra limitelor de incertitudine este

$$E\left[\left(\frac{\partial}{\partial \theta}\log f\right)^2\right] \quad \text{sau} \quad E\left[-\frac{\partial^2}{\partial \theta^2}\log f\right].$$

Astăzi această mărime este numită „informaţia lui R.A. Fisher", pentru a o deosebi de celelalte tipuri de informaţie care au mai fost introduse[1].

---

[1] În această problemă a se vedea şi articolul lui *F*. Le Lionnais pp. 109–110.

Lucrările lui R. Hartley (1927) și mai ales cele ale lui Cl. E. Shannon (1948) au arătat că transmisibilitatea unui semnal într-un timp dat este „măsurabilă". Ea este și aditivă.

Dacă M este ansamblul a două mesaje M_1 și M_2, această valoare a informației R are proprietatea $R(M) = R(M_1)+R(M_2)$. Dacă există N_1 posibilități de o parte și N_2 de cealaltă, care dau un total de N_1N_2 posibilități, avem $R(N_1) + R(N_2) = R(N_1N_2)$. Deci R este un logaritm. Toate acestea nu sînt cu totul noi. Fizicienii reprezintă gradul de neorganizare al unui sistem cu ajutorul entropiei sale: $-E(\log f)=\iiint f \log f du dv dw$, în care f reprezintă densitatea în spațiul vitezelor. Specialiștii în comunicații au regăsit această valoare care, pentru o mulțime $p_1, p_2, \ldots, p_n$ de probabilități, este $H = -\sum p_i \log p_i = -E(\log p)$.

H are valoarea zero în cazul în care un p_i este egal cu unu. Valoarea sa cea mai mare, $\log n$, se obține cînd toți p_i au valoarea $1/n$. Se constată că aceasta reprezintă o măsură a ignoranței cercetătorului. El va putea, prin întrebări (succesive), să-și mărească informația. Se consideră că fiecare răspuns prin da sau nu reprezintă o alegere între 2^n posibilități echivalente, ceea ce conduce la unitatea de informație *hartley*. Cînd s-au acumulat n *hartley*, avem certitudine. Datorită acestor alegeri elementare se folosesc logaritmii în baza 2.

În realitate, probabilitățile nu sînt totdeauna egale. Dar se poate arăta că numărul mediu de întrebări pe care cercetătorul le va ridica, dacă alegerea lor este optimă, este de ordinul lui H și valoarea acestuia va fi foarte apropiată de cea reală dacă numărul posibilităților este mare. Această expresie a lui H a fost studiată și de E. Halphen (1939—1940; publicată în 1947). Îndreptîndu-și atenția numai asupra probabilităților, Halphen a introdus un element remarcabil, funcția caracteristică intrinsecă, și a dat expresia momentelor intrinseci.

Acest dialog informativ, condus pînă la cunoașterea mai mult sau mai puțin perfectă, constituie dialogul însuși al cercetătorului cu sistemul fizic pe care-l studiază.

INFORMAȚIA FURNIZATĂ DE ELEMENTE ÎN LEGĂTURĂ STOCHASTICĂ. Legătura stochastică a fost aprofundat studiată în scopul formulării ei numerice. Se vorbește obișnuit de o legătură strînsă sau destul de slabă. Extremele sale sînt independența și legătura funcțională care pot fi biunivoce.

Gini, Jordan, Fréchet, K. Pearson etc. au studiat indicii care iau la o extremitate valoarea 0 iar la cealaltă valoarea 1, și care sînt totdeauna cuprinși între 0 și 1. Féron (1956) a reunit aceste rezultate cu cele ale sale proprii.

În această ordine de idei vom semnala indicele (provenit din cercetările lui Shannon, 1948) care furnizează informația dată una asupra celeilalte de două elemente aleatoare ξ și η. În cazul discontinuu expresia ei este $I_{\xi\eta} = \sum_{i} \sum_{k} P_{\xi\eta}(ik) \operatorname{Log} \frac{P_{\xi\eta}(ik)}{P_{\xi}(i) P_{\eta}(k)}$.

Această informație este nulă dacă variabilele aleatoare ξ și η sînt independente. Un astfel de indice poate fi aplicat la două variabile aleatoare oarecare sau la două funcții aleatoare. Studiul lui a condus la rezultate de o eleganță deosebită în cazul laplacianilor, cu diferite extensiuni (Ghelfand, Kolmogorov, Yaglom, Hincin, Pinskar, 1954; Korezlioglu, 1959).

Expresia $I_{\xi\eta}$ (informaţia reciprocă a lui $\xi\eta$) trebuie să fie inferioară informaţiei (a lui ξ de către ξ)$I_{\xi\xi}$ sau $I_{\eta\eta}$. Într-adevăr $I_{\xi\eta} - I_{\eta\eta} = \sum_{i} \sum_{k} P_i \; \Phi\left(\frac{P_{ik}}{P_i}\right)$, unde $\Phi = x\log x$; sau $P_{ik}/P_i = P(k/i) \leqslant 1$.

Funcţia Φ este negativă pentru valorile inferioare unităţii. Rezultă că pentru ξ variabilă, informaţia dată de η este inferioară celei pe care o dă η asupra ei însăşi, adică: $-\sum P_k \log P_k$ (sau celei pe care o dă ξ). Informaţia medie legată $J\eta/\xi$ cu ponderea P_i este: $J\eta/\xi = -\sum_{i} P_i \sum_{j} P(j/i) \log P(j/i)$.

Această informaţie medie legată trebuie adăugată informaţiei marginale astfel încît avem: $J_{\xi\eta} = J_{\xi} + J_{\eta/\xi} = J_{\eta} + J_{\xi/\eta}$.

REZULTATUL LUI SCHUTZENBERGER. Impunînd mărimii informaţiei o axiomatică suficient de rezonabilă, Schutzenberger (1954) a introdus în aceeaşi familie informaţia lui Fisher, pe cea a lui Shannon, şi altele, cea a lui Wald etc. Orice informaţie ar fi valoarea medie, extinsă la ansamblul stărilor unei operaţii liniare asupra logaritmului probabilităţii. Bineînţeles, informaţiile care nu verifică axiomatica amintită nu sînt neapărat de această formă.

LOGICA PROBABILULUI. Teoria probabilităţii cauzelor, aşa cum a fost considerată iniţial de Bayes şi apoi de Laplace, are în vedere problema generală a progresului cunoaşterii, uneori printr-o evaluare numerică, dar în mod frecvent şi prin probabilităţi în ordine crescătoare, care nu sînt neapărat precizate numeric.

Teorema şi formulele zise ale lui Bayes permit ca, plecînd de la o lege de probabilitate apriori, să se se stabilească cum o modifică rezultatele observaţiei. O astfel de lege de probabilitate ne va spune într-adevăr ceva numai dacă ea este concentrată în jurul unei anumite valori.

Estimaţiile parametrilor vizează un scop analog, dar prin mijloace diferite. Totuşi se pot obţine cunoştinţe de natură probabilistă prin metoda intervalelor de încredere. Metodele de estimare, create de R.A. Fisher, au apărut din dificultăţile întîlnite în folosirea teoremei lui Bayes, care impune condiţia ca parametrul (cauza) să fie conceput ca o variabilă aleatoare sau ca un element aleator. Cazurile în care populaţia studiată reprezintă ea însăşi un model al unei populaţii de structură cunoscută ar fi satisfăcătoare, dar sînt rare.

Dar tot foarte rar se întîmplă să nu ştim nimic despre necunoscutele studiate, fără a putea totuşi să transformăm aceste cunoştinţe în probabilităţi prin metode clasice. Astfel, istoria prezintă multe enigme cu o informaţie de bază foarte incompletă. E. Halphen (1955) a propus introducerea noţiunii de „verosimilitate“ (foarte diferită de cea definită de R.A. Fisher), mărime psihologică care poate creşte sau scădea prin variaţia unei submulţimi favorabile. De aici nu rezultă imediat necesitatea precizării unei valori numerice; această cunoaştere poate progresa prin observaţii şi prin experienţe.

Duă cum subliniază Morlat (1962), noţiunea de verosimilitate are marele interes de a aşeza pe o treaptă anterioară probabilităţii începuturile preocupărilor intelectuale; ea va evidenţia poate vanitatea şi sterilitatea anumitor dispute care datează de pe vremea lui Bayes şi Laplace. Imaginea abstractă ce se încearcă a se da acestei mărimi psihologice apare ca o probabilitate subiectivă. Desigur, unor spirite remarcabile le repugnă folosirea unor astfel de probabilităţi de ordin subiectiv. În realitate ele au toate în măsură mai mare sau mai mică acest caracter. Acelaşi lucru se poate afirma şi pentru utilitate, imagine abstractă a valorii.

ORIGINELE TEORIEI DECIZIEI. De multă vreme oamenii reflectează asupra metodelor de a se comporta faţă de incertitudinea viitorului. Calculul probabilităţilor, care are acum un rol foarte util în acest studiu, i-a fost mai mult sau mai puţin direct asociat încă de la început. Probabilismul, aşa cum a fost început de Port-Royal, reprezenta, se pare, mai ales iniţial, un mod de a scuza o comportare riscantă din momentul în care exista o probabilitate, chiar foarte mică. Pascal şi Fermat (1654) căutau decizia rezonabilă, în cazuri în care aveau valori numerice pentru probabilitate şi pentru suma ce se putea cîştiga sau pierde. Speranţa matematică îşi începea astfel cariera.

Ars conjectandi (1713) a lui Jacques Bernoulli avea în vedere aplicaţiile la comportare. Leibniz era profund convins de rolul calculului probabilităţilor ca ramură a logicii şi de asemenea ca instrument util. „Valorile empirice, deşi sînt inexacte, pot aduce servicii practice serioase“, scria el (1703). De asemenea el sfătuia pe J. Bernoulli să insiste asupra cunoaşterii oricăror informaţii posibile decît asupra unor rafinamente matematice. D'Alembert a avut însă rezerve, destul de raţionale, faţă de utilizarea de către J. Bernoulli a speranţei matematice. În ceea ce priveşte Laplace, acesta n-a ezitat, după folosirea definiţiei clasice, de a vorbi de probabilităţi în cazuri mult mai generale. El nu dă în general valori numerice, dar compară submulţimea favorabilă cu mulţimea totală. Introducerea unei definiţii riguroase a probabilităţii de către É. Borel şi axiomatizarea datorită lui Kolmogorov, au permis abordarea problemei în ansamblu într-un mod mult mai sigur.

Există cazuri în care terenul acestor studii este foarte solid, ca în cazul controlului calităţii. Studiul unei decizii în prezenţa întîmplării reprezintă din contră o problemă dificilă al cărei enunţ rămîne de altfel destul de imprecis. Abordarea modului de reprezentare al incertitudinilor, reprezintă scopul unei teorii foarte vaste a probabilităţilor.

Se dezvoltă o mare mişcare care face din teoria deciziei instrumentul fundamental care include teoria probabilităţilor, teoria jocurilor, teoria utilităţii etc. Acest curent de idei foarte fecund a permis un studiu de ansamblu al axiomelor, considerate rezonabile, ale comportamentului. Dar axiomele sînt uneori incompatibile şi o reflectare asupra acestui punct ar fi foarte utilă.

Un colecviu internaţional asupra Bazelor şi aplicaţiilor teoriei riscului în econometrie (1952) a provocat discuţii aprinse. Un alt colocviu, în 1955, s-a raportat Asupra modelelor dinamice în econometrie. În fine, în 1959, un colocviu Asupra deciziei a marcat lucrările şi progresele obţinute în domeniul acestor concepţii noi.

Ramsey şi B. de Finetti au dat plecarea în cursa susţinută de minţi subtile şi solide. J.L. Savage care a entuziasmat reuniunea din 1952, a constituit o axiomatică foarte discutată (*The foundations of statistics*, New York, 1954) care conduce la următoarele consecinţe:

1) există o probabilitate *numerică*, ataşată stărilor viitoare, care se supune regulilor calculului probabilităţilor;
2) există o utilitate *numerică*, ataşată consecinţelor;
3) alegerile efectuate revin la a face maximă speranţa matematică a utilităţii.

Acest punct de vedere care se bazează pe existenţa preferinţelor supuse unor axiome este foarte discutat, dar lucrarea lui Savage este deosebit de stimulatoare.

Acelaşi lucru se poate afirma şi despre lucrările lui Milnor (*Decision processus*, 1954). Unele exemple relativ simple de decizii ce trebuie luate în funcţie de unele eventualităţi meteorologice neprevizibile, arată că concluzia obţinută variază în funcţie de criteriile adoptate. Faptul că acestea nu au valoare universală confirmă complexitatea persistentă a problemelor de rezolvat.

Calitatea oamenilor de ştiinţă preocupaţi de aceste probleme ne asigură totuşi că o teorie a deciziei faţă de incertitudine este în curs de a progresa. Pentru a o manipula este necesar mult gust, fineţe şi inteligenţă, dar, după cum au arătat şi cei ce se ocupă de aceste probleme, se poate obţine un ajutor eficace în deciziile veritabile (J. Lesourne, 1958; P. Massé, 1959, G. Th. Guilbaud, 1959), fără a renunţa totuşi la această supraveghere a jocului care poate permite soluţii mai ingenioase.

CAPITOLUL IX
Cibernetica

Dacă nu există nici o știință a cărei apariție și evoluție să fie lipsite de dificultăți, nașterea și primii pași ai ciberneticii sînt fără îndoială și mai puțin ușor de descurcat decît cei ale altor ramuri ale științei. Aceasta ține mai întîi de faptul că este vorba de o realizare recentă și în mare măsură inedită; apoi, datorită dificultății de a separa caracterele științifice de aspectele tehnice care le sînt strîns asociate; și, în sfîrșit, datorită situației sale de răspîntie a mai multor științe distincte dar cu care se găsește în simbioză. Acest caracter s-a manifestat chiar în modul în care cibernetica a apărut. În 1938, matematicianul Norbert Wiener și cardiologul Arturo Rosenblueth, au luat hotărîrea de a explora împreună *no man's land* ale cunoștințelor, aceste domenii care sînt neglijate deoarece se găsesc situate în regiuni intermediare între diverse științe. Grupul lor s-a lărgit incluzînd cercetători aparținînd celor mai diferite discipline. Astfel trebuia să se înființeze un spirit de generalizare care a permis ca cercetările cele mai diverse să beneficieze unele de altele. Într-un anumit sens ceea ce este comun acestor diverse aporturi ar merita să fie botezat cibernetică. Nici unul dintre acestea nu a fost dus pînă la consecințele sale extreme și există de fapt cibernetici îndreptate spre matematică, altele spre electronică, altele spre biologie, altele spre aplicații industriale. De aici rezultă adevărate conflicte privind definiția ciberneticii[1].

În sensul său cel mai profund și mai îngust, cibernetica nu trebuie considerată decît o teorie a acțiunii finalizate și a adaptării. Pe acest trunchi s-au dezvoltat ramuri a căror apartenență la cibernetică este recunoscută de către unii, dar refuzată de către alții. Acestea sînt teoriile informației, ale deducției și inducției automate, ale previziunii, ale spiritului de finețe, ale deciziei (cuprinzînd și cercetările operaționale) și chiar ale automatizării.

---

[1] O Asociație internațională de Cibernetică, fondată de G.R. Boulanger, a ținut, începînd din 1956, mai multe congrese internaționale în cursul cărora definiția ciberneticii și legăturile ei cu științele înrudite au fost precizate.

A. TEORIILE INFORMAŢIEI ŞI TEORIA COMUNICAŢIILOR

DIFERITELE NOŢIUNI DE INFORMAŢIE. Prima idee clară şi ştiinţifică asupra noţiunii de informaţie selectivă este datorată lui Nyquist (1924)*. În 1927, Hartley a făcut un pas decisiv în definirea acestei noţiuni, arătînd — cu ocazia transmisiei celei mai satisfăcătoare şi mai economice telegrame — cum trebuie măsurată mărimea care-i corespunde, cu ajutorul unei unităţi care a fost botezată *hartley*, şi apoi *bit* (prescurtare de la *binary unit* — unitate binară).

Această unitate corespunde cazului în care se indică dacă o informaţie dată este adevărată sau falsă, fiecare din cele două eventualităţi avînd o probabilitate de 50%. Se poate regăsi un element într-o colecţie procedînd la selecţionări alternative, fiecare dicotomie valorînd 1 bit. Numărul de biţi necesari găsirii unui element dintr-o colecţie de n elemente este egal cu $\log_2 n$. Un mesaj care implică n alegeri între K simboluri va transporta o cantitate de informaţii: $1 = n \cdot \log_2 K$. Un dicţionar cuprinzînd 100 000 de cuvinte valorează 16—17 biţi.

În 1948 şi 1949, Cl. E. Shannon şi W Weaver, pe de o parte, şi N. Wiener, pe de alta, au reluat aceste lucrări pe baze matematice solide. Puţin mai tîrziu, Kolmogorov şi Blanc-Lapierre au studiat caracterul statistic al informaţiei selective pregătind astfel legarea ei de teorii mai generale.

În timp ce se dezvolta, devenind mai coerentă, noţiunea de informaţie selectivă era martoră apariţiei unor noţiuni apropiate matematizate ca şi ea, dar totuşi net distincte.

Începînd din 1920, Sir Ronald Fisher a elaborat metoda statistică — numită a „planurilor experimentale“ — care permitea extragerea informaţiilor conţinute într-un grup de observaţii în vederea reducerii ambiguităţii în evaluarea unei mărimi necunoscute. În timp ce informaţia selectivă, care enumără alegerile, nu cunoaşte decît numere întregi, informaţia lui Fisher este valabilă şi în cazul în care informaţiile ajung în mod continuu. Această noţiune, care este legată de limitarea preciziei pe care o poate avea o experienţă, efectuată pentru evaluarea unei mărimi necunoscute, joacă un rol important în metodologia experienţei.

„Informaţia lui Wald“, care a fost propusă de A. Wald în 1935 şi studiată de Neymann, reprezintă o selecţie prin trieri succesive, asociată numărului de observaţii sau de experienţe care ar trebui efectuate de un cercetător pentru a decide între două ipoteze. Importanţa capitală a informaţiei lui Wald constă în mod esenţial în faptul că permite, prin intermediul unui nou capitol al satisticii matematice, analiza secvenţială , de a se stabili o legătură între teoria ştiinţifică a inducţiei şi cele ale deciziei şi jocurilor strategice.

Deşi nu trebuie confundate, aceste trei tipuri de informaţie, au în comun calitatea preţioasă de a fi matematizate. Informaţia lui Wald foloseşte o anumită mărime care generalizează informaţia selectivă. În 1951, S. Kulback şi R. A. Leibler au propus o generalizare a noţiunii de informaţie care conţine drept caz particular noţiunile lui Hartley-Shannon şi ale lui Fisher. Au mai apărut şi alte noţiuni de informaţie, care diferă mai mult sau mai puţin de tipurile matematizate citate mai sus.

---

* Lui R.A. Fisher i se datorește introducerea cuvîntului „informaţie“ în sens matematic, în legătură cu teoria matricilor hessiene. Fără a fi riguros echivalentă cu noţiunea de informaţie selectivă, ea este suficient de apropiată pentru a se deosebi odată cu aceasta de sensul obişnuit al cuvîntului. A se vedea şi studiul lui G. Darmois şi D. Dugué pp. 103—104.

Informaţia structurală este ansamblul de informaţii care permite descrierea, reprezentarea sau reconstituirea, calitativă şi cantitativă, a unei structuri sau a unei configuraţii oarecare (obiect material, fenomen mintal, sau cunoaştere). Echivalenţa sa cu informaţia selectivă este în general admisă, dar nu pare a fi fost demonstrată.

„Informaţia semantică" (Carnap), sau „semnificaţia", reprezintă ceea ce este comun între modul în care aproape toţi oamenii înţeleg un acelaşi cuvînt, o aceeaşi frază, un acelaşi mesaj. „Informaţia estetică" (A. Moles, 1952; M. Bense) pune în lumină un „cîmp de libertate" care înconjură fiecare semn al unui mesaj. În sfîrşit, „informaţia personală" se caracterizează prin modul în care un individ înţelege un mesaj sau îl simte diferit de altul. În timp ce informaţia semantică este intersubiectivă şi comună, informaţia personală este subiectivă şi diferenţială.

Aceste diferite noţiuni legate de definiţii foarte diferite, şi adesea chiar defectuos definite, nu trebuie confundate între ele, dar teoria generală a informaţiei, care să permită evidenţierea legăturilor lor, rămîne de stabilit.

INFORMAŢIE ŞI ENTROPIE. Informaţiile lui Hartley-Shannon (sau selectivă), a lui Fisher, a lui Wald şi, la limită, informaţia structurală, au un conţinut mult mai puţin bogat decît informaţiile semantică şi personală. Dar ele au avantajul de a se preta mai uşor la matematizare. În afară de aceasta, una dintre ele, cea mai săracă, corespunde şi poate chiar se identifică cu o mărime fundamentală întîlnită în fizică: entropia[2].

În 1871, J. C. Maxwell a avut primul ideea de a stabili o legătură între noţiunea de informaţie şi noţiunile de bază ale energeticii. L. Boltzmann a uşurat această legătură aprofundînd noţiunea de entropie şi definind-o ca fiind, pînă la o constantă, logaritmul probabilităţii formării unei anumite configuraţii într-o mulţime de alte configuraţii posibile.

Dar lui L. Szilard i se datoreşte înţelegerea acestei invazii a noţiunii de informaţie în domeniul energeticii. În 1929, în cadrul celebrului paradox al „demonului lui Maxwell" el a demonstrat că o informaţie de 1 bit ar trebui să atragă o reducere a entropiei ansamblului egală cu $k \log 2$, în timp ce entropia sursei de unde provine această informaţie ar trebui să crească cu aceeaşi cantitate. Cu alte cuvinte, entropia se plăteşte cu informaţie. Iar unei informaţii îi corespunde o entropie negativă.

---

[2] Faţă de numeroasele încercări de a se modifica sau completa teoria matematică a informaţiei, iniţiate de Hartley şi Shannon, în aşa fel încît ea să poată include în raza ei de acţiune nu numai informaţia selectivă, ci şi cea semantică, şi faţă de dezvoltarea impetuoasă a esteticii informaţionale, în cadrul căreia teoria lui Shannon este adaptată informaţiei estetice, trebuie să menţionăm scepticismul cercetătorilor de formaţie semiotică (Charles Morris, Colin Cherry etc.). Aceştia insistă asupra faptului că teoria lui Shannon, fie ea şi renovată în diferite moduri, nu poate depăşi hotarele informaţiei selective (deci care rezultă din alegerea unei variante din mai multe posibile), în timp ce informaţia semantică nu este în întregime reductibilă la informaţia selectivă. Succesele esteticii informaţionale şi ale precursorilor ei (de exemplu, ale lui G.D. Birkhoff) se explică prin faptul că ele se referă la artele vizuale şi la muzică, domenii în care informaţia nesemantică ocupă un loc important. — *S.M.*

Lucrările lui Szilard nu au găsit ecouri numeroase pînă la cel de-al doilea război mondial cînd a avut loc un puternic şi rapid avînt al teoriei informaţiei. Independent unul de altul, N. Wiener şi E. Schrödinger au reluat această apropiere între informaţia selectivă şi entropia negativă pe care L. Brillouin a botezat-o „negentropie". D. Gabor a extins la energetica cuantică domeniul de acţiune al informaţiei selective, stabilindu-i discontinuitatea. Cea mai mică cantitate de negentropie necesară pentru obţinerea unei informaţii de 1 bit este de 0,7 k (k fiind constanta lui Boltzmann).

Problema de a se şti dacă informaţia selectivă poate fi identificată cu negentropia — şi, în consecinţă, după cum consideră L. Brillouin, poate să-i fie adăugată — sau dacă ea îi este numai omogenă şi se exprimă prin acelaşi formalism matematic, nu pare să fi fost definitiv rezolvată. Informaţia lui Fisher este legată de măsura fluctuaţiilor negentropiei.

De la lucrările lui Szilard şi Gabor şi cele ale lui Mac Kay, J. Loeb, R. Vallée, A. Blanc-Lapierre etc. a devenit din ce în ce mai clar că teoriile matematizate ale informaţiei trebuie să fie plasate la baza oricărei teorii riguroase a măsurii în ştiinţele fizice. Numai ele permit să se ţină seamă în mod convenabil de interacţiunea dintre observator şi operaţiile prin care acesta măsoară fenomenele observate.

TEORIA COMUNICAŢIILOR. Această teorie studiază problemele puse de emisia, transmisia şi recepţia informaţiilor selective. Teoria matematică a semnalului a fost pusă la punct în special de J. Ville, N. Wiener, D. Gabor şi Tuller. Un mesaj este format dintr-o succesiune de semnale care reprezintă informaţii convenabil codificate. Problemele codificării şi decodificării constituie obiectul a numeroase lucrări printre care vom semnala teoria scandării lui B. Mandelbrot.

Studiul transmisibilităţii unui mesaj într-un timp dat este dominat de o teoremă fundamentală a lui Cl. E. Shannon. Aceasta pune în evidenţă o viteză măsurabilă, numită viteză de informaţie.

Transmisia unui mesaj poate fi afectată de diverse deformări: dispersie, distorsiune, zgomote. Cibernetica a atras atenţia asupra noţiunii generalizate de zgomot şi a permis studiul său matematic.

Încă din 1940, Kolmogorov şi Wiener au arătat interesul de a se considera zgomotul ca un fenomen aleator. Informaţia lui Wald poate fi considerată ca o informaţie cu zgomot. „Informaţia metrică" a lui Mac Kay corespunde aproximativ raportului între intensitatea semnalului şi intensitatea zgomotului care îi acoperă semnificaţia.

Noţiunea de redundanţă intervine în numeroase fenomene naturale, în studiul limbilor şi în metodele de descifrare a scrierilor secrete sau a limbilor puţin cunoscute. Studiul său este dominat de o teoremă enunţată de Shannon şi demonstrată de Hincin.

Oricare ar fi natura şi forma unei serii de informaţii, transmiterea lor depinde de proprietăţile şi de caracteristicile *canalelor* care le transportă. „Înaintea lucrărilor lui Shannon — scrie Ashby — se considera că prin modificarea unui canal este totdeauna posibil să se transmită ceva mai multă informaţie". În realitate, există un maximum posibil în unitatea de timp, după cum au arătat Hartley, Wiener şi Shannon, ultimul dînd în 1949 şi formula care exprimă „capacitatea" unei linii de comunicaţii care prezintă zgomot. În 1950 acest rezultat a fost extins de Gabor la cazul domeniilor discontinue. Pe lîngă aceasta, Gabor a inventat o unitate de informaţie, *logon*, care serveşte la măsurarea capacităţilor canalelor de transmisie folosite.

Astăzi teoria informaţiei şi teoria comunicaţiilor constituie prin ele însele discipline care se bucură de o legitimă autonomie; în acelaşi timp ele depăşesc cu mult propriul lor domeniu şi îşi oferă serviciile în cea mai mare parte a ştiinţelor, în particular în psihofiziologie[3] şi în numeroase domenii tehnice.

B. AUTOMATIZAREA CALCULULUI ŞI A DEDUCŢIEI

EVOLUŢIA MAŞINILOR DE CALCUL. Maşinile de calcul ne oferă un nou exemplu al unui domeniu despre care trebuie decis dacă aparţine sau nu ciberneticii.

Evoluţia acestor maşini fiind legată de istoria tehnicii, nu vom aminti aici decît cîteva puncte esenţiale din istoria maşinilor numerice sau digitale.

Se ştie că primele maşini de calcul au fost construite în secolul al XVII-lea de către Schickard (1624), Pascal (1642) şi Leibniz (1672). Etapa următoare a fost gîndită şi aproape realizată de către un matematician şi actuar, Charles Babbage (1792—1871), care a înţeles perfect care trebuie să fie planul unei maşini complexe, capabilă nu numai să combine numerele conform uneia din cele patru operaţii aritmetice, ci şi să asocieze aceste operaţii într-o ordine dată, corespunzătoare unei formule. Datorită unei subvenţii, el a reuşit dacă nu să construiască o astfel de maşină, cel puţin să fabrice diferitele sale piese care, deşi prezentate la Expoziţia universală de la Londra din 1851, nu au fost niciodată reunite. Chiar dacă această din urmă operaţie ar fi reuşit, maşina lui Babbage n-ar fi funcţionat niciodată bine datorită dificultăţilor mecanice independente de concepţia sa.

În 1879, Lord Kelvin a arătat posibilitatea de a se rezolva ecuaţii diferenţiale cu o maşină; schema a fost reluată în 1923 de L. Wainwright. În 1925 V. Bush a fabricat un prim analizator diferenţial, iar în 1942 i-a încorporat un program de calcul.

Între timp, datorită şi ajutorului tehnic al Companiei I. B. M., H. H. Aiken a reluat problema maşinilor complexe de la punctul la care o lăsase Babbage.

---

[3] Urechea umană este sensibilă la 1 milion de biţi pe secundă, ochiul uman la 500 milioane de biţi pe secundă; creierul uman ar putea raţiona asupra a 10 biţi pe secundă. După Mac Kay senzaţia de trecere a timpului nu ar fi altceva decît aprecierea unei mai mari sau mai mici abundenţe de informaţii care pătrunde în conştiinţa noastră într-un mod practic continuu. Teoria informaţiei se regăseşte şi în încercările de explicare a mecanismelor memoriei şi recunoaşterii formelor.

Între 1937 și 1944 el a construit o primă mașină mecanică, cu program automat, Mark I. Atunci a apărut E.N.I.A.C., mașină electronică capabilă să efectueze 32 000 operații pe secundă, concepută de J. W. Mauckly și M. J. Eckert în cadrul efortului american pentru război.

De acum înainte, istoria marilor mașini de calcul se va dezvolta într-un context electronic. Aceste mașini, cu performanțe spectaculoase, au fost introduse în domenii din ce în ce mai vaste ale vieții moderne.

Cea mai mare parte a calculelor interesînd gestiunea marilor întreprinderi, a băncilor, a societăților de asigurare, a ministerelor economice și a contabilității naționale le sînt astăzi încredințate. Același este cazul și pentru calculele interminabile necesare atît în siderurgie cît și în reglarea traficului pe căile ferate sau pentru teleghidarea unui satelit artificial. O stație meteorologică, un observator astronomic, un reactor nuclear, un accelerator de particule nu mai pot fi concepute fără acești auxiliari. Ei au început să pătrundă în laboratorul de biologie și în clinica medicală. Vom cita în acest domeniu mașinile de diagnosticare automată; ele nu au pretenția de a înlocui acum medicul, ci de a-i furniza un diagnostic care să țină seama de toate combinațiile posibile de semne patologice constatabile de bolnav sau de medic; acestuia din urmă îi revine obligația de a retușa și de a finisa diagnosticul automat pentru a ține seamă de diversele date despre care nu se știe încă cum se pot introduce în mașină, cum ar fi aspectul general al bolnavului, comportarea sa psihologică etc.

Această diversitate în aplicații stă la baza a diverse progrese care adesea au avut rezultate depărtate de domeniul lor de origine și dintre care unele au ridicat teoria însăși pînă la principiile ei cele mai ascunse.

Numerația binară — recomandată încă din 1938 de L. Couffignal — a apărut la timp pentru a simplifica operațiile ce se efectuează în interiorul unei mașini de calcul. Ea se poate realiza prin intermediul oricărui dispozitiv de comutație, ca de exemplu montajul *flip-flop*, circuit electronic basculant, inventat de E. Jordan în 1919.

Înregistrarea unei enorme cantități de date n-a devenit posibilă decît prin inventarea unor „memorii“ din ce în ce mai vaste, al căror inventar ține de istoria tehnicii. Fiecare element de memorie este capabil să conserve un anumit număr de stări fizice a căror succesiune permite să se reprezinte numerele. În schimb, aceste elemente sînt constituite din ritmuri care circulă în memoriile cu circuite reverberante. În definitiv, nu există fenomen fizic sau chimic care să nu poată fi capabil de a fi folosit pentru o comutație și în consecință pentru înmagazinarea informațiilor sau pentru a emite sau întrerupe semnale.

Lui J. von Neumann i se datorește ideea înregistrării nu numai a datelor numerice ale unei probleme ci și a instrucțiunilor care să permită rezolvarea ei: trierea datelor, operații aritmetice sau comparații, punerea în rezervă provizorie a unor rezultate parțiale etc. În 1951, Wilkes a inventat metoda microprogramării, iar între 1952—1954 au apărut „biblioteci“ de subprograme, de programe de interpretare, de „compilatori“ etc. De altfel, „registrele indecși“, inventate în 1950 de F. O. Williams, T. Kilburn și colectivul lor de la Universitatea din Manchester, permit modificarea anumitor instrucțiuni chiar înaintea executării lor.

Introducerea instrucţiunilor în maşinile de calcul constituie o problemă capitală. Cum trebuie „vorbit“ maşinilor de calcul? Fiecărui tip de calculator îi corespunde un „limbaj“ special care trebuie cunoscut pentru a ne face ascultaţi. Limbajul Algol, propus în 1958 la Conferinţa de la Zürich, este adaptabil la toate tipurile de calculatoare cunoscute.

TEORIA MAŞINILOR PENTRU TRATAREA INFORMAŢIEI. Termenul de „maşini de calcul“ este destul de amăgitor. Denumirile de „maşini logice“ sau „maşini de combinat“ ar fi uneori mai conforme cu modul de lucru şi cu destinaţia acestor aparate, denumiri ce se tinde a fi înlocuite acum prin expresia „maşină pentru tratarea informaţiei“, care are avantajul de a nu aprecia mai dinainte natura problemelor tratate sau a metodelor folosite.

Această trecere de la calculul aritmetic şi de la domeniul numeric la operaţii asupra structurilor logice (poate ar fi mai convenabil de a spune nimic mai mult decît „structuri“) nu ar fi putut fi realizate fără lucrările pregătitoare ale filozofilor şi matematicienilor, lucrări care se precizează în secolul al XIX-lea cu crearea calculului logic al lui Boole şi după axiomatizarea progresivă a matematicii (vol. III, 1, pp. 30—33). Rămînea doar să fie corelate aceste studii cu cercetările tehnice asupra maşinilor de calcul.

O primă legătură a fost realizată din 1937 de C. E. Shannon, care a demonstrat că circuitele de comutaţie automată satisfac algebra logicii a lui Boole. Aceeaşi algebră a servit ca bază lucrării *Calculateur de vérités logiques* a lui Kalin şi Burckhard (1947). Vom mai aminti şi maşinile logice ale lui Mac Callum şi Smith (1951), H. Ch. Hatcher (1959) şi a lui S. Ceccato şi E. Marotti.

În acelaşi timp cu aceste realizări materiale, încă foarte modeste, dar care au avut meritul de a amorsa viitorul, teoria generală şi abstractă, a maşinilor pentru tratarea informaţiei avea să se întîlnească, printr-o cotitură neaşteptată, cu una din achiziţiile cele mai importante din istoria recentă a matematicii. În 1936, A. M. Turing a definit ceea ce se numesc „maşinile Turing“. Această expresie nu reprezintă aparate efectiv construite, ci modelul abstract şi general al tuturor maşinilor pentru tratarea informaţiei.

Aceste „maşini“ au fost imaginate pentru a da un răspuns la întrebarea următoare: „cum trebuie definit riguros conceptul matematic corespunzător noţiunii vagi de funcţie aritmetică, efectiv calculabilă?“. Turing a arătat mai întîi că maşinile sale puteau să aparţină la tipuri diferite, dar formînd o mulţime numărabilă, astfel încît mulţimea lor, deşi infinită, să nu formeze decît o mică parte din mulţimea numerelor întregi. El a mai stabilit faptul că este posibil să se realizeze o „maşină Turing universală“ capabilă să ia aceleaşi decizii ca şi o maşină Turing particulară oarecare, a cărei structură şi instrucţiuni ar putea fi totdeauna descrise cu ajutorul codului şi sintaxei maşinii universale; nu recunoaştem în aceasta situaţia omului în faţa celorlalţi oameni şi a lumii exterioare?

Aceste idei, care însemnau definirea structurii generale, a posibilităţilor şi a limitelor maşinilor pentru tratarea informaţiei, — fie că se particularizau în calcule aritmetice sau în operaţii logice — pluteau în aer. În acelaşi an, 1936, Church şi Kleene, Kalmar şi, în sfîrşit, Post, au furnizat răspunsuri matematice echivalente cu cel al lui Turing, deși prezentate într-un mod care nu scotea în evidență posibilitatea de a aplica aceste idei la rezolvarea problemei gîndirii automate. De fapt, încă din 1934, K. Gödel rezolvase aceeași problemă. Rezultatul său coincidea cu remarcabila teoremă a lui Gödel, care reprezintă fără îndoială culmea cea mai înaltă a istoriei geometriilor neeuclidiene și a axiomatizării matematicii la care ele au condus[4] (vezi p. 27).

Matematicienii sînt indispensabili pentru a conduce mașinile de calcul uriașe și pentru a concepe altele mai perfecționate, dar calculatoarele sînt destul de puțin folosite de către ei. Vom cita ca rezultate pur matematice, cel mai mare număr prim cunoscut: $2^{4423}-1$ și primele 100 000 zecimale ale numărului π (1958, la I.B.M. 704). Fără îndoială că interesul practic al acestor „isprăvi" este nul din punct de vedere pur științific, dar ele prezintă dovada posibilităților ce depășesc nivelul simplei curiozități.

AUTOMATIZAREA JOCURILOR DEDUCTIVE. Anumite jocuri pur deductive aparțin de fapt domeniului matematicii. Interesul lor constă în faptul că ele au un conținut recreativ asociat unor structuri dificil de tratat prin metodele matematice tradiționale, ceea ce le rezervă eforturilor cercetătorilor de avangardă. Studiul automatizării lor se reduce la analiza structurilor lor.

Ch. Babbage (1864) și dr. Rogers (1874), au propus planurile unui automat care să joace jocul *ronds et croix* (tic-tac-toe). Primele mașini construite pentru a juca acest joc — automatizat de B. Caldwell — sînt cele ale dr. D.W. Davies (1949) și ale lui N. Elliot (1950).

Jocul lui Nim, caz particular al unui joc chinez — *fant-tan* — poate fi de asemenea automatizat. Soluția sa depinde de funcția lui Grundy (C. Berge și M.P. Schutzenberger) care este legată de teoria grafurilor. În 1951, o mașină de calcul Ferranti a fost programată de F.O. Williams pentru a cîștiga sigur în jocul lui Nim cu condiția de a i se permite să înceapă jocul.

Se pot automatiza de asemenea, integral, anumite poziții ale unor jocuri ca jocul de dame sau de șah, dar numai cînd problema este redusă și cînd rezultatul se poate atinge după un mic număr de mutări. Prima mașină de calcul capabilă să trateze riguros o problemă de șah dată se datorește inginerului spaniol L. Torres Quevedo. Conceput în 1899 și construit în 1911, acest robot electromecanic nu cunoștea decît o finală care comporta un material foarte redus. Dar, pe baza acestor date, el era capabil ca, pornind de la orice poziție legitimă și cu condiția ca automatul să facă prima mișcare, să termine victorios partida. Aceeași performanță a fost transpusă pe o mașină electronică de calcul de Van der Poel. De atunci și alte finale relativ simple ale diverselor jocuri au fost complet automatizate. În sfîrșit, mai multe maşini pentru tratarea informaţiei au fost programate pentru a putea rezolva chiar probleme simple de şah (dr. Prinz, 1951) sau de alte jocuri.

---

[4] În legătură cu noțiunile echivalente cu calculabilitatea Turing, introduse și studiate în deceniul al patrulea al secolului nostru, un rol de seamă îl joacă noțiunea de funcție recursivă (echivalentă cu aceea de funcție calculabilă Turing) și noțiunea mai particulară de funcție primitiv recursivă. Primul exemplu de funcție recursivă care nu este primitiv recursivă se află conținut în articolul *Sur le nombre transfini* ω^{ω} (Bull. math. de la Soc. roum. des sciences, vol. 30, 1927, fasc. 1, pp. 11—30) al matematicianului român Gabriel Sudan. Deși au trecut de atunci aproape 50 de ani, nu s-au putut obține exemple de o formă mai simplă decît aceea a exemplului lui Sudan. — *S.M.*

INTERPRETAREA CIBERNETICĂ A FENOMENELOR BIOLOGICE. S-a observat curînd că modelele de programare sau procedeele de memorizare destinate maşinilor de calcul se aseamănă cîteodată — şi uneori chiar se identifică — cu unele modele ale fenomenelor biologice sau psihologice.

În 1938, W. Rachevsky a arătat că unele modele abstracte ale circuitelor electrice permiteau explicarea anumitor proprietăţi ale circuitelor nervoase, în particular ale celor ce formează circuite închise. Aceste idei aveau să fie matematizate de W. S. Mac Coulloch şi W. Pits în 1943, apoi formalizate cu ajutorul algebrei lui Boole de Householder şi Landahl, şi, în sfîrşit, aşezate pe o bază probabilistă. Încă din 1922, R. Lorente de No emisese ipoteza existenţei în creier a unor lanţuri de neuroni reverberanţi, capabili să conserve ritmuri pe durate mari de timp. Această explicaţie a fost reluată de A. Forbes (1929), S. W. Ranson şi J. C. Hinsey (1930) şi urmărită pînă în zilele noastre de Lorente de No, von Foerster şi de alţi cercetători.

Experienţele efectuate în 1961 de Gaïjo asupra planariilor au arătat că memoria acestor viermi, pentru anumite adaptări la reflexe condiţionate, depinde direct de prezenţa acidului ribonucleic (ARN) şi este transmisibilă la alte planarii prin injectarea unor substanţe extrase din primele. Se pare că aceasta constituie o dovadă că fiinţele vii funcţionează ca maşini de calcul prevăzute cu un program (ADN — acid dezoxiribonucleic), şi o memorie (ARN).

Vom întîlni şi alte exemple de interpretări cibernetice ale fenomenelor biologice sau psihologice. Vom aminti un proiect care, cu toată lipsa de aplicaţii previzibile în prezent, este capabil de a lămuri probleme legate de genetică: este vorba de maşinile autoreproducătoare ale căror planuri au fost propuse de von Neumann şi Shannon.

Aşezată pe un teren pe care se găsesc grămezi de diferite piese detaşate, maşina autoreproducătoare va explora împrejurimile sale, va examina unul cîte unul elementele amestecate, va deosebi pe cele care îi convin şi le va asambla, formînd o altă maşină autoreproducătoare, identică cu „mama“ sa şi înzestrată cu propriul ei motor şi o rezervă de energie.

După ce arătase încă din 1949 posibilitatea unei astfel de rezolvări, J. von Neumann a propus în 1952 două modele amănunţite. În timp ce primul se aseamănă cu modurile de reproducere al cristalelor şi fără îndoială al genelor, al doilea ne face să ne gîndim la reproducerea animală; acest model este format dintr-o „soma“ — prevăzută cu organe de percepţie a împrejurimilor, organe de acţionare asupra împrejurimilor şi un organ central — şi dintr-un „germen“ — care comportă organe de declanşare şi organe de oprire. Un alt proiect este datorat lui Shannon.

Analogia cu viaţa este desigur grosolană. Dar singura posibilitate de a construi un model simplu — o simplitate de altminteri relativă deoarece von Neumann a stabilit că nu poate fi mai mică de cca. 10 000 elemente! — ar fi fost considerată fantezistă acum aproximativ 30 de ani!

C. TEORIA ŞI TEHNICILE ADAPTABILITĂŢII

Entuziasmul adesea naiv al marelui public pentru cibernetică se datorește în mare parte faptului că aceasta a permis construirea unor aparate care să imite posibilitățile de adaptare ale ființelor vii. Fără a căuta să reținem în urma sa teoria informației și mașinile de calcul electronice — am putea chiar s-o definim ca știința adaptabilității, a realizărilor sale în Natură, a teoriei sale abstracte ca și a metodei de invenție a mașinilor sau a proceselor de adaptabilitate.

PROBLEMA ORIGINILOR. În acest sens îngust, cibernetica are precursori și chiar o preistorie. Invențiile tehnice i-au precedat formularea științifică. Descris pe la 1206 de al-Jazari, „orologiul luminii"— care este un regulator de flacără printr-o metodă tot sau nimic, — reprezintă probabil primul servo-mecanism cunoscut. Tot în evul mediu, putem semnala dispozitivul *baille-blé*. Primul servo-mecanism imaginat de un inginer și adaptabil la o mașină industrială este regulatorul cu bile, al lui James Watt (1790), care permite readucerea unei mașini cu aburi la un regim constant cînd ea tinde să aibă abateri. Este vorba deci de un dispozitiv cu *feedback* (*conexiune inversă*), al cărui mecanism a fost analizat de Maxwell, care i-a pus în evidență principiul (1868) într-o lucrare care reprezintă prima analiză teoretică a adaptabilității. Dar abia între cele două războaie mondiale noțiunea de *feedback*—a cărei idee fusese adusă de această lucrare— avea să intre în lumină și să-și ia avînt. Se pare că meritul principal trebuie atribuit lui H.S. Black (1931) și lui H. Nyquist (1932). Ei aveau să fie urmați de A. Rosenblueth, N. Wiener și J. Bigelow (1943), apoi H. W. de Bode (1945). Aceste lucrări pregătitoare se vor lumina, se vor lărgi și deschide asupra prelungirilor în lucrarea N. Wiener: *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine* (1948): aici cibernetica își proclamă nașterea, metodele și ambițiile sale.

IMPORTANŢA NOŢIUNII DE *FEEDBACK*. Ea se bazează pe noțiunea de *feedback* asociată unui obiect (mașină, fenomen material sau social, sau ființă vie) care acționează asupra mediului său în vederea atingerii unui obiectiv.

Acest mediu nu este constituit numai din mediul înconjurător exterior, ci poate fi considerat și interior obiectului și în legătură cu diversele părți ce contribuie la funcționarea sa. Acest *feedback* va consta într-un dispozitiv însărcinat să asigure cinci funcții:

1) Explorarea mediului în vederea culegerii de informații asupra rezultatelor acțiunii întreprinse.

2) Introducerea acestor informații în obiectul considerat.

3) Măsurarea la diverse momente a abaterilor între obiectivele urmărite și rezultatele obținute.

4) Obținerea printr-un calcul (aritmetic, analogic sau logic) a mijloacelor de a corecta acțiunile următoare pentru reducerea sucifientă a abaterilor constatate.

5) Transmiterea acestor indicații organelor obiectului, însărcinate să-i permită să atingă scopul propus.

Dispozitivul este deci format din organe de explorare a mediului înconjurător şi dintr-un complex care, la rîndul său, conţine o intrare de informaţii, un procedeu de combinare a acestor informaţii şi o ieşire a directivelor de acţionare. Procedeul de combinare a informaţiilor poate fi foarte simplu (regulatorul lui Watt, termostate casnice), sau foarte complicat (sisteme nervoase, maşini de calcul electronice). Cînd se constată existenţa acestui mecanism, fără a i se putea explica clar funcţionarea, i se rezervă denumirea de „cutie neagră". Şi, în sfîrşit, după cum se întîmplă cel mai des în cazurile complexe, de exemplu pentru maşinile în care firele electrice ce conduc curentul la motoare sînt deosebite de firele ce transportă informaţiile (acestea din urmă transportînd o energie mult mai slabă decît primele), există interesul de a înlocui denumirea de *feedback* — care, de origine anglo-saxonă, a devenit internaţională — cu cea de „ciclu de retroacţiune". Acest proces nu trebuie confundat cu reacţia ordinară, care, afară de faptul că circulă în general pe acelaşi fir ca şi acţiunea, nu duce la o adaptare finalizată şi nici chiar obligatoriu la un echilibru.

Feedback-ul destinat conducerii unui mecanism spre un scop poate să fi fost greşit reglat la început, sau se poate deregla în cursul funcţionării sale. Atunci el riscă de a corecta insuficient acţiunea pe care o ghidează, sau din contră s-o facă să depăşească scopul, sau chiar să genereze oscilaţii care o vor conduce alternativ, şi fără a se atenua, dincolo şi dincoace de scop. Acest fenomen a fost constatat la maşini (Nyquist, 1932). Wiener a prezis că acest fenomen va fi regăsit şi la fiinţele vii, iar Rosenblueth l-a descoperit efectiv în anumite boli nervoase. Se pot combina reacţiile între ele, observînd sau inventînd *feedback*-uri de *feedback*-uri care permit ameliorarea calităţilor de adaptabilitate ale unui sistem.

Este important să deosebim automatizarea rigidă, sau clasică, de automatizarea suplă sau cibernetică. Prima a precedat pe cea de-a doua în această mişcare, care tinde din ce în ce mai mult să înlocuiască omul prin maşină şi care încă şi în zilele noastre continuă să-l depăşească cu mult în eficacitate şi în importanţă. În plus, ceea ce deosebeşte pe primul de cel de-al doilea, nu este renunţarea sau recurgerea la maşinile pentru tratarea informaţiei, ci absenţa sau utilizarea *feedback*-urilor, şi prin urmare incapacitatea sau capacitatea de a se adapta la situaţii neprevăzute.

Ocupînd încă un loc destul de modest în comparaţie cu cel al automatizării rigide, *feedback*-ul tinde să se infiltreze în sectoare din ce în ce mai numeroase, uneori neaşteptate ale acestuia din urmă[5]. Ne vom mulţumi să dăm două exemple pentru a ilustra această diversitate: maşinile electronice care permit să se prevadă acumularea produselor radioactive periculoase în anumiţi reactori nucleari şi marile maşini de transfer ale industriei automobilistice.

„ANIMALE ELECTRONICE". Pentru marele public, cibernetica reprezintă mai puţin această revoluţie industrială şi mai mult o menajerie de „animale electronice" a căror comportare îl umplu de o uimire obţinută în mod ieftin. Afară de faptul că este vorba de un punct de vedere foarte incomplet, el poate aduce în mod nedrept pagube realizărilor sale care ne propun modele în acelaşi timp ingenioase şi lămuritoare asupra comportării organismelor vii.

---

[5] Fără îndoială că înţelegerea acestei mutaţii tehnologice, caracteristică celei de-a doua revoluţii industriale, este cea care a condus la crearea, foarte controversată, a termenului de *automatică*. Acest cuvînt, creat în Statele Unite în 1947, tinde să-şi facă un loc alături de cuvîntul automatizare, pentru a sublinia că este vorba de o influenţă masivă şi care se referă la dotarea maşinilor cu acea adaptabilitate din care s-a făcut mult timp apanajul omului şi al animalelor domestice.

Încă din 1938, Th. Ross a construit o maşină capabilă, prin încercări şi greşeli (deci prin *feedback*), să iasă dintr-un labirint. Dar aparatul său se deplasa pe şine. În 1950, „broaştele ţestoase electronice" ale neurofiziologului englez Grey Walter au lansat moda acestei imitări electromecanice a mersului către un scop al unei fiinţe vii.

Aceste două *machina speculatrix* sînt dotate cu calităţi remarcabile care pot constitui modele de mecanisme de adaptabilitate interesante în psihofiziologie. De fapt, ele explorează mediul înconjurător, posedă tropisme pozitive sau negative, sînt capabile să aleagă între o comportare eficace şi una neeficace, să caute un optimum, să se „recunoască" într-o oglindă sau să „recunoască" un individ asemănător; ele posedă o anumită stabilitate internă şi realizează toate aceste calităţi cu o mare economie şi cu o uimitoare simplitate de mijloace.

Grey Walter a complicat modelele sale iniţiale îmbunătăţindu-le performanţele, astfel încît o maşină construită de el are reflexe condiţionate. Un alt model construit de maghiarul A. Algyan, după ce a asociat o senzaţie cu o alta, trece la o etapă superioară şi asociază prima senzaţie la generalizarea celei de-a doua. Au fost construite numeroase maşini analoage; ele nu au decît defectul de a fi botezate cu nume de animale, dar pot ajuta la lămurirea problemelor de psihologie animală.

Reluînd ideea lui Ross, R.A. Wallace a construit în 1952 un vehicul montat pe sine, capabil să iasă dintr-un labirint, prin încercări repetate, şi să-şi „amintească" soluţia. „Şoricelul" lui Shannon (1952) a reuşit aceeaşi performanţă, dar deplasîndu-se liber; se pot imagina anumite aplicaţii ale acestei realizări, în special în centralele telefonice.

ROLUL *FEEDBACK*-URILOR ÎN BIOLOGIE. HOMEOSTAZIE. În afara invenţiilor şi a dispozitivelor tehnice se întîlnesc *feedback*-uri, în fenomenele legate de viaţă sau de gîndire unde ele apar frecvent şi natural, şi la cele mai diferite nivele. Toate aceste fenomene sînt caracterizate printr-un cuplaj între mediul ambiant (viu sau nu) pe de o parte, şi un individ (animal, vegetal, sau protist), sau o parte a organismului său, sau o asociaţie de mai mulţi indivizi, pe de alta.

R. Goldacre a arătat că mişcările amibei sînt controlate de *feedback*-uri intracelulare şi că diviziunea sa se obţine printr-un circuit de retroacţiune care leagă nucleul celulei de citoplasma sa (1950). Informaţiile care circulă între acidul dezoxiribonucleic al nucleului şi acidul ribonucleic al citoplasmei sînt cele care reglează sinteza proteinelor în orice celulă vie. Experimentatorii şi teoreticienii se găsesc pe urmele altor reacţii celulare care vor îmbogăţi citologia cu modele dinamice.

Metazoarele sînt sediul unor reacţii complicate care pun în joc legături între celule, ţesuturi, organe şi indivizi: reglarea tensiunii arteriale, a conţinutului în glucoză sau în acid carbonic al sîngelui, a temperaturii, comanda muşchilor involuntari în actul naşterii etc.

Se regăsesc *feedback*-uri (D. şi K. Stanley Jones) în înotul meduzei, în mişcările anemonelor de mare, în depunerea icrelor scoicilor, în oscilaţiile viermilor, în controlul zborului la lăcuste, în dinamica libărcii şi, de asemenea, la vertebrate, ca la ţipar etc. Diferite boli şi anumite tratamente, pot fi şi ele interpretate cu ajutorul *feedback*-urilor: epilepsia, poliomielita acută şi cronică, electroşocurile şi şocurile chimice, psihochirurgia etc.

În neurofiziologie şi în psihofiziologie, feedback-urile ajută la înţelegerea mecanismelor sistemului nervos şi al modului în care simţurile noastre permit adaptarea mişcărilor şi a acţiunilor noastre la scopurile lor. Electroencefalografia a profitat de acest punct de vedere, ca şi teoria reflexelor condiţionate[6], cea a instruirii şi ca diferite capitole ale psihologiei.

În fine, noţiunea de homeostazie, întrevăzută înaintea revoluţiei cibernetice, a fost reînnoită prin scoaterea în evidenţă a rolului *feedback*-urilor. Lui W.C. Cannon (1926) i se datorează atît această noţiune a unui echilibru menţinut prin adaptare, cît şi a cuvîntului, care s-a încetăţenit. A.V. Hill a regăsit aceeaşi idee în 1930, iar Cannon a aprofundat-o în 1932. Dar ei nu vedeau în homeostazie decît un fapt important şi admirabil, fără însă a demonstra mecanismul acestei ultrastabilităţi bazate pe sisteme de *feedback*-uri în cascadă.

Printre lucrările care au permis lămurirea acestor mecanisme în sistemul nervos senzorial şi motor, amintim experienţele lui Marines asupra muşchilor globului ocular al unei pisici şi cele ale lui Sperry asupra muşchilor flexori şi extensori ai unei maimuţe.

După publicarea lucrării *Design for a brain* (1931), care trebuie considerată clasică în cibernetică, psihiatrul englez W. Ross Ashby n-a încetat să se dedice — atît prin construcţii ingenioase, cît şi prin lucrări teoretice — acestei probleme a ultrastabilităţii. Primul său homeostat cu patru elemente electromecanice, era încă o încercare grosolană. Superhomeostatul sau D.A.M.S., format din 100 elemente, cu funcţionare electronică, a putut fi însă calificat de N. Wiener drept o „maşină darwiniană". Ne găsim totuşi încă foarte departe de cele peste 10 miliarde de neuroni ai creierului uman!

Asociaţiile de fiinţe vii scot în evidenţă în mai multe moduri proprietăţi cibernetice. Pe de o parte, se stabileşte între speciile vii şi mediul lor înconjurător un anumit echilibru care se poate menţine mult timp prin cicluri de retroacţiune. Ciclurile carbonului, azotului şi a celorlalte elemente care trec alternativ prin fiinţele vii şi prin mediul lor mineral, şi chiar anumite aspecte ale evoluţiei speciilor, aparţin acestui capitol al biociberneticii generale.

Pe de altă parte, societăţile animale şi umane recurg — cel mai des inconştient — la *feedback*-uri pentru asigurarea atît a stabilităţii lor, cît şi a progresului lor spre anumite obiective. Se regăsesc astfel de *feedback*-uri în toate structurile şi în toate fenomenele sociale, ca şi în numeroase mecanisme economice şi în special în cele care se privesc interacţiunile dintre producţie, consum şi preţuri (Tustin, H . Greniewski).

---

[6] Teoria reflexelor condiţionate a lui Pavlov avea să facă legătura sa cu electroencefalografia în momentul în care Livanov şi Poleakov, folosind iepuri sănătoşi, au găsit în electroencefalogramele lor efectele condiţionării unui reflex.

D. TEORIA ŞI AUTOMATIZAREA SPIRITULUI DE FINEŢE

Se poate considera adaptabilitatea — care caracterizează viaţa şi al cărei studiu reprezintă cibernetică propriu-zisă — ca intermediară între spiritul riguros, cu care sînt dotate maşinile deductive şi spiritul de fineţe din care analiza, sinteza şi automatizarea parţială au făcut obiectul unor proiecte ambiţioase, cu încercări diferite şi cu realizări inegal remarcabile.

RECUNOAŞTEREA STRUCTURILOR. Colaborarea între specialiştii în telefonie şi în radiocomunicaţii, între acusticieni şi între fiziologii sonorizării şi audiţiei, a dat semnalul startului în studiul metodelor şi instalaţiilor capabile să analizeze şi să sintetizeze vocea omenească.

Recurgerea la teoria redundanţelor se regăseşte în aparatele *Vocoder* şi *Voder* inventate în 1936 şi în 1939 de H. Dudley. La emisie, mesajul vorbit trece printr-o serie de filtre dispuse în paralel. Lipsite de redundanţele lor, variaţiile esenţiale ale sunetelor sînt transmise în acelaşi timp în care un scurt semnal aduce formula acestor redundanţe. Ansamblul semnalelor transmise poate fi condensat într-o proporţie de 10 la 1. La recepţie, *Voder*-ul recombină aceste mesaje şi reconstituie vocea cu individualitatea sa.

Audrey este un aparat capabil să recunoască vocea umană şi să o deosebească de o altă voce.

În 1940, Kopp şi Green au abordat problema vizualizării vorbirii în momentul înregistrării. Dar recunoaşterea formelor vizuale se dovedeşte mult mai dificilă de obţinut decît cea a formelor sonore. Problema deosebirii caracterelor de un tip determinat poate fi considerată ca practic rezolvată. Nu acelaşi lucru se poate afirma despre „citirea necondiţională" (R. de Posel), adică recunoaşterea textelor scrise de mînă sau dactilografiate, sau imprimate cu caractere nenormalizate. Totuşi, această problemă a fost abordată în mai multe ţări şi în special în Statele Unite, în Anglia, în Japonia, în Uniunea Sovietică. Rezolvarea ei va permite să se prezinte unei maşini electronice textele de analizat, fără a mai fi necesară dactilografierea prealabilă a unui document imprimat sau scris de mînă.

Problema generală a recunoaşterii formelor şi structurilor cu ajutorul unei maşini electronice a intrat deci în faza sa experimentală. În 1947, americanii W. Pitts şi W. Mac Culloch au arătat că posibilitatea pentru o maşină de a recunoaşte o structură, descriind-o în termeni de informaţie selectivă, se leagă de invarianţa comportării unui mecanism faţă de un anumit grup de transformări. Perceptronul doctorului Rosenblatt (1960) îşi propune a fi în acelaşi timp un aparat destinat recunoaşterii structurilor sensibile, atît vizuale cît şi sonore, sau de altă natură, cît şi un model al unei porţiuni din creier[7].

---

[7] Un progres esenţial, în problema recunoaşterii automate a structurilor spaţiale, îl constituie dezvoltarea, în deceniile al şaptelea şi al optulea, a teoriei gramaticilor picturale, cu largi aplicaţii în genetică, matematică, limbaje de programare, arhitectură etc. S-a putut astfel introduce un concept riguros de liniarizare a unor structuri polidimensionale, deosebit de util în diferitele limbaje ştiinţifice care adaugă expresiilor liniare ale limbajului natural diferite sisteme artificiale de simboluri şi reprezentări grafice. — *S.M.*

MACROLINGVISTICA. TRADUCEREA ŞI DOCUMENTAREA AUTOMATĂ. Limbajul şi limbile sînt domenii de alegere pentru analiză şi sinteză, adică pentru automatizarea mai mult sau mai puţin reuşită a spiritului de fineţe. Macrolingvistica mai întîi a urmat un drum independent înainte de a se uni cu cibernetica. Nu vom expune aici decît aspectele statistice care sînt în general legate de teoria informaţiei selective şi de utilizarea maşinilor pentru tratarea informaţiilor.

Întrevăzută de J.B. Estoup (1916), legea lingvistică a celui mai mic efort a fost îndelung studiată de G.K. Zipf (1949), apoi criticată şi îmbunătăţită de diferiţi cercetători şi în special de B. Mandelbrot (1955), căruia i se datoreşte şi noţiunea de „temperatură" informaţională.

Conform acestei legi, frecvenţele cuvintelor limbilor naturale, urmează o formulă hiperbolică, sau, cu alte cuvinte, perioadele lor urmează o lege liniară. Frecvenţa unui cuvînt este deci independentă de semnificaţia sa semantică şi de funcţia sa gramaticală; ea nu depinde decît de locul pe care-l ocupă în lista de cuvinte din care este extras, acestea fiind dispuse în ordinea frecvenţei. Astfel, într-o limbă bine făcută — şi acesta este cazul tuturor limbilor naturale — informaţia se transmite — datorită unei coaliţii a emiţătorului şi receptorului contra „Naturii" — la preţul cel mai mic, iar evoluţia unei limbi ascultă, în mare, de un principiu de eficacitate maximă în repartizarea cuvintelor. V. Belevici a stabilit pentru literele alfabetului o lege analoagă celei a lui Zipf, corectată de Mandelbrot.

Statistica a intervenit şi într-un alt mod în macrolingvistică, datorită matematicianului rus A. Markov care, în 1913, a analizat nu numai frecvenţele cuvintelor, ci şi frecvenţele înlănţuirilor de cuvinte dintr-un poem celebru al lui Puşkin. În 1948, Shannon a efectuat o analiză markoviană a limbii engleze scrise, nu la nivelul cuvintelor ci al literelor.

Aceste cercetări au permis obţinerea de progrese în metodele de descifrare a mesajelor al căror cod nu este cunoscut şi furnizarea unei teorii ştiinţifice a cuvintelor încrucişate. Aceste cercetări s-au dovedit preţioase pentru detectarea textelor presupuse sau acuzate de a fi apocrife (compararea textelor din *Noul Testament* şi a variantelor lor: J.W. Ellison, 1953) sau pentru sugerarea unor interpolări plauzibile în textele în care unele paragrafe scurte sînt distruse sau necitibile (manuscrisele de la Marea Moartă etc.).

În sfîrşit, metodele markoviene au permis compunerea unor texte scrise scurte şi inteligibile cît şi a unor copii muzicale, cu atît mai reuşite, cu cît ele au în vedere obţinerea unor „medii" pornind de la modele simple. Alte proiecte, mai ambiţioase, se referă la compunerea unor opere muzicale sau literare mai originale.

Dacă traducerea automată a necesitat o cunoaştere temeinică a lingvisticii şi a macrolingvisticii, ea a permis reciproc, să se arate cît de greu le erau celor două discipline să îndeplinească această nouă misiune şi ea a avut meritul de a le determina să capete o conştiinţă mai pătrunzătoare şi mai clară a obiectivelor lor.

Se pare că savantul sovietic P.P.S. Troianski a fost primul care a avut meritul de a depăşi stadiul ideilor fără temelii tehnologice.

Bazat pe concepţii revoluţionare şi corecte, proiectul său al unei maşini de tradus, brevetat încă din 1933, a fost respins în 1939 şi 1944. Aceleaşi principii au fost scoase din nou la lumină cîţiva ani mai tîrziu de către savanţi şi ingineri care ignorau lucrările acestui precursor.

În urma discuţiilor între W. Weaver şi A.D. Booth asupra descifrării şi asupra folosirii maşinilor electronice de calcul, Booth şi D.H.V. Britten au stabilit, în 1947, un cod care permitea introducerea în maşină a unui dublu dicţionar. În timp ce H. Richens (1948) şi W. Weaver (1949) au abordat problema traducerii pe plan gramatical, diferiţi cercetători americani (E. Reifler, Oswald, Fletcher şi Bull, Y. Bar Hillel) au inaugurat epoca cercetărilor sistematice la scară mare.

La 7 ianuarie 1954, la New York, un ordinator I.B.M. 701, programat cu un vocabular modest de 250 de cuvinte, a tradus în limba engleză, sub direcţia lui dr. Dostert, cîteva texte scurte în limba rusă. Oricare ar fi caracterul primitiv al acestei performanţe, ea a introdus traducerea automată în realitate.

Un prim Congres internaţional asupra traducerii automate a avut loc în 1952, iar în 1954 şi-a făcut apariţia o revistă consacrată noii discipline: „Mechanical Translation". În 1955, Uniunea Sovietică a înfruntat această problemă prin Nesmeianov, Korolev, Rasunovski şi Zebenkevici, iar în 1956 maşina electronică B.E.S.M. a început primele sale traduceri din engleză în rusă. În Marea Britanie, dr. Booth a efectuat traduceri din franceză în engleză (1955) şi a propus, împreună cu Locke, crearea unei limbi internaţionale care să servească pentru trecerea din orice limbă în oricare altă limbă. De acum înainte ţări ca Germania, China, Franţa, Israel, Italia, Japonia, Suedia etc. s-au lansat în cursă. Tehnicile se rafinează încontinuu. Maşina automată de tradus a Laboratorului de Calcul de la Harvard (V.A. Giuliano şi A.G. Oettinger, 1958) conţine, pe o bandă magnetică, un dicţionar rus-englez cu 22 000 rădăcini ale cuvintelor ruseşti. O altă maşină, construită de G.W. King (I.B.M., 1962) traduce zilnic, într-un mod excelent, 60 000 cuvinte ruseşti în engleză.

Dacă stadiul traducerilor fine este încă în afara posibilităţilor actuale — ele depind mai ales de posibilitatea acumulării unor informaţii de amănunt — nivelul traducerilor foarte grosolane este astăzi depăşit. Problema alegerii între diversele semnificaţii ale unui aceluiaşi cuvînt, va putea fi din ce în ce mai bine rezolvată prin luarea în considerare a „domeniilor semantice" ale acestor semnificaţii, iar introducerea unor reguli gramaticale din ce în ce mai fine, va urma progresele unei lingvistici care se conduce în direcţia cerută de traducerea automată.

La fel, documentarea automată a devenit din ce în ce mai necesară pentru a domina avalanşa de texte ştiinţifice, tehnice şi economice, pe care nu mai reuşim să le traducem, nici clasa sau regăsi rapid chiar într-o clasificare raţională.

Începînd din 1936 au fost puse la punct diferite procedee pentru a se folosi maşini cu cartele perforate în domeniul documentării şi pentru a se propune soluţii problemei clasificării în aceste maşini, cu o colaborare mai mult sau mai puţin strînsă cu maşina pentru a regăsi un document într-un fişier sau într-un catalog[8].

---

[8] Prezentarea de mai sus corespunde unui stadiu incipient, de mult depăşit, al traducerii automate, cînd ea era o activitate ad-hoc, destul de empirică, neluminată de o teorie lingvistică corespunzătoare. Această perioadă se încheie cu începutul deceniului al şaptelea, după care experimentele practice de traducere automată devin din ce în ce mai rare, tre-

După ce au apelat la clasificarea zecimală universală, aceste metode diferite, a căror descriere aparţine de istoria tehnicii, au adoptat coduri mai bine adaptate scopurilor lor. De la clasificările sistematice (numite cu ierarhie tare), reprezentate prin scheme arborescente şi care nu folosesc decît relaţia de incluziune, s-a trecut la scheme în latice, care se bazează pe alte relaţii şi pe o ierarhie slabă. În acest domeniu, P. Otlet (1895) este precursorul, iar ideile sale, redescoperite de Ranganathan (1933) şi apoi de G. Cordonnier (1943), au condus la „clasificarea cu faţete". Au mai fost propuse diferite alte tipuri de clasificări: prin metoda cuvintelor-cheie a lui Moers, prin metoda frazelor-cheie a lui H. Selye), prin metoda lui M. Taube, prin metoda „cod semantic"a lui Perry etc.

Documentarea ar putea fi considerată complet automatizată dacă ar fi suficient să i se furnizeze maşinii documentele cu grămada şi în ordinea sosirii lor, lăsîndu-i grija să le citească, să elimine pe cele ce nu merită să fie păstrate, să le analizeze pe celelalte, să le claseze şi să le regăsească prin indicarea acestor puncte. Nu ne găsim decît în faţa primelor cercetări, dar sovieticul Gutenmaher (1956) şi americanii H.P. Luhn şi Yngve au abordat cu hotărîre analiza automată a textelor. Continuînd lucrările lor, numeroşi cercetători din diferite ţări fac eforturi de a relua analiza lingvistică structurală a textelor, introducînd-o în tipare matematice împrumutate din teoria mulţimilor, din algebra abstractă, din topologia algebrică şi din teoria grafurilor. Studiul paralel al principiilor traducerilor automate şi al documentării automate a fost abordat de grupul lui M. Masterman, de Chomsky (1957) S. Ceccato, K.E. Harper şi D.G. Hays (1959) etc.

TEORIA JOCURILOR STRATEGICE. Într-o notă din 1921 É. Borel a pus primele baze ale teoriei jocurilor strategice. El a prezentat un caz particular de ceea ce se numeşte teorema fundamentală (conform căreia un maxim se găseşte că egalează un minim), a cărei demonstraţie a fost dată în 1928 de J. von Neumann, şi redusă apoi la o teorie elementară de J. Ville în 1938. Von Neumann care a continuat studiul acestor probleme, a publicat în 1944, în colaborare cu economistul O. Morgenstern, o celebră lucrare, *Theory of games and economic behaviour*. În 1951 acelaşi timp cînd se crea noua disciplină, îmbinarea ei cu teoria informaţiei şi cu cercetarea operaţională îi asigura baze mai solide şi legături fructuoase. Noţiunea de „şiretenie" era astfel matematizată pentru prima dată. În 1951, a avut loc în Statele Unite un simpozion asupra Modelelor de personalitate.

Prin jocuri strategice trebuie înţelese nu numai jocurile de raţionament pur, jocurile numite „cu informaţie perfectă", cum sînt jocurile de dame sau de şah, — ci şi jocurile care comportă un anumit hazard, cu condiţia ca să rămînă un loc şi pentru raţionament. Raţionamentul se poate referi nu numai asupra elementelor materiale asupra unor partide, ci şi

cîndu-se în schimb la o dezvoltare vertiginoasă a teoriei lingvistice (în special a semanticii) şi a teoriei traducerii. Dificultăţile care apăruseră în cercetările de traducere automată nu erau de ordin inginerese, ci proveneau dintr-o insuficientă dezvoltare a abordării formalizate în lingvistică. În aceste condiţii s-a dezvoltat, atît în Europa cît şi în Statele Unite, lingvistica matematică, în cadrul căreia compartimentul principal îl constituie teoria gramaticilor generative, iniţiate de către Noam Chomsky. Această teorie modelează competenţa lingvistică cu ajutorul unor sisteme formale de tipul celor utilizate de Hilbert în a sa teorie a demonstraţiei. Teoria gramaticilor generative şi a limbajelor formale corespunzătoare constituie un instrument esenţial în studiul limbajelor de programare şi a devenit, în ultimii ani, un domeniu bine închegat al matematicii. — *S.M.*

asupra ideilor pe care fiecare jucător şi le face asupra intenţiilor adversarilor săi. Acest din urmă element, care se poate manifesta printr-o comportare de cacialma, reprezintă chiar esenţialul jocurilor ca „par sau impar" sau pocker. El se regăseşte în luptele militare, politice, comerciale sau sociale.

Primele tipuri de jocuri studiate de von Neumann prezentau un număr finit de strategii numite „pure". J. Ville şi A. Wald au generalizat aceste lucrări şi au luat în considerare cazurile jocurilor infinite şi chiar cu infinitate continuă. Teoria jocurilor alternative (adică doar între doi adversari care joacă fiecare la rîndul său) a fost studiată de Cl. Berge (1952). Jocurile cu mai mult de doi jucători, prezentînd sau nu coaliţii (obligatorii sau facultative) încă puţin cunoscute, au fost studiate începînd din 1950 de Shapley şi Shubck.

Automatizarea jocurilor strategice a constituit obiectul unor numeroase încercări inegal reuşite. Anumite încercări au fost efectuate asupra jocului „par sau impar", caz extrem în care şiretenia şi cacialmaua, sau detectarea lor, intervin în proporţie de 100% în raţionamentele celor doi adversari. La capătul opus acestuia, se situează diferitele maşini capabile să joace în mod infailibil jocuri relativ simple sau de a rezolva probleme simple de jocuri complicate ca bridge, dame, şah. Aceste maşini de tip deductiv folosesc o metodă numită de minimax, care constă, în cazul unei situaţii date în care maşina trebuie să joace, în a lua în considerare toate deciziile care îi sînt permise, apoi pentru fiecare dintre ele, pe toate cele ale adversarului şi aşa mai departe, pînă cînd ele conduc la o serie de rezultate definitive: şi, comparînd drumurile ce pot duce pînă la acestea, a determina dacă există unele care permit obţinerea dintr-o dată a rezultatului căutat.

Cu totul alta este problema ce constă în a efectua un joc a cărei complexitate n-a fost încă integral depăşită. În acest caz se introduce în memoria maşinii un anumit număr de principii descoperite de oameni, principii care s-au demonstrat practic. Rezultatul este cu atît mai puţin satisfăcător cu cît jocul este mai complicat. Rezultate interesante au fost obţinute în jocul de dame, în timp ce jocul de şah a condus, începînd din 1950, la numeroase încercări de automatizare parţială, al căror succes pare încă foarte limitat.

PREVIZIUNE. DECIZIE. CERCETARE OPERAŢIONALĂ. JOCURI DE ÎNTREPRINDERI. Cînd problemele de decizie se pun la un nivel în care teoria jocurilor strategice singură nu ar fi suficientă să le rezolve, — datorită fie lipsei mai multor informaţii preţioase, fie că informaţiile pe care le avem sau le putem căuta sînt în număr copleşitor — ele conduc la crearea *cercetării operaţionale,* disciplină care îşi găseşte terenurile de acţiune de predilecţie în operaţiile militare şi în economie.

În 1939, un grup britanic condus de A.P. Rowe, a colaborat cu armata în problema detectării atacurilor aeriene. La declararea războiului, aceste cercetări erau continuate de dr. E.C. Williams. În acest moment a intrat în joc, sub conducerea lui P.M.S. Blackett, un „grup de cercetări operaţionale" compus din aproximativ zece savanţi de diferite specialităţi şi din cîţiva militari. Cercetarea operaţională a jucat un rol important în victoria repurtată de Marea Britanie în bătălia aeriană a Londrei, permiţînd luarea unei decizii raţionale în compunerea şi repartizarea escadrilelor, a zonelor de acţionare şi a momentelor de intrare în acţiune. De asemenea, ea a permis rezolvarea problemei formelor şi dimensiunilor ce trebuia date convoiurilor de aprovizionare escortate, care traversau Atlanticul, şi a redus la minimum pierderile provocate de submarine.

Din Marea Britanie, cercetarea operaţională avea să treacă la sfîrşitul anului 1942, în Statele Unite, iniţial în Forţele Aeriene, apoi în Marină, în legătură cu Universitatea din Princeton şi cu Institutul Tehnologic din Massachusetts. Printre alte exemple, se citează cel al utilizării teoriei jocurilor strategice, în strînsă legătură cu cercetarea operaţională, la bătălia din arhipelagul insulelor Bismarck în februarie 1943.

La sfîrşitul războiului, cercetarea operaţională avea să cunoască o adevărată transformare: ea s-a îndreptat spre industrie şi spre toate celelalte sectoare ale activităţii economice, mai ales guvernamentală, evidenţiindu-se şi luînd loc alături de organizarea ştiinţifică a producţiei. În realitate, premizele acestei metamorfoze se întîlnesc încă din secolul al XIX-lea şi mai ales în diferitele întreprinderi planificate din secolul al XX-lea.

Pe de altă parte, în timp ce puneau bazele unor noi noţiuni de informaţie, teoriile lui Fisher şi Wald, conduceau, fiecare în felul ei, spre *teoria deciziei*, pentru care cercetarea operaţională reprezintă, în multe privinţe, aspectul practic. Încă din 1920, lucrările lui Sir Ronald Fisher în agricultură l-au condus la imaginarea unor „planuri de experienţe“ care, cu ajutorul pătratelor greco-latine (matrici ale căror căsuţe sînt ocupate de două litere independente), să-i permită studiul sistemelor complexe de variabile numeroase, simultane, şi acţionînd unele asupra altora.

Programarea matematică reprezintă fără îndoială partea principală a cercetării operaţionale, iar *programarea liniară* îi constituie primul capitol. Se numesc astfel metodele de calcul în care unele probleme concrete pot fi puse sub forma unui sistem de un mare număr de inecuaţii liniare cu n variabile (sau necunoscute). Acesta este cazul problemelor de transporturi şi de distribuţii (F.L. Hitchock, 1941; T.C. Koopmans), al repartizării personalului (D.F. Votaw jr. şi A. Orden), al cercetării echilibrului între producţie şi stocare etc.

Cea mai celebră dintre metodele de rezolvare a problemelor de programare liniară, „metoda simplex“, leagă studiul inecuaţiilor de căutarea unui vîrf pe un poliedru convex, care reprezintă ansamblul soluţiilor posibile. Ea este datorată lui G.B. Dantzig (1951) care a arătat de asemenea că teoria jocurilor strategice poate fi în general redusă la programarea liniară. Dar au fost imaginate şi alte metode: cea a „jocului fictiv“ (G.W. Brown), cea a relaxării (Charnes, Cooper şi Henderson), cea a lui G.W. Brown şi a lui J. von Neumann care foloseşte sisteme de ecuaţii diferenţiale etc.

Un studiu a lui A.K. Erlang (1908) avea să conducă după vreo trei decenii la „teoria cozilor de aşteptare“ ale cărei aplicaţii sînt numeroase: aterizarea avioanelor, staţionarea automobilelor, aşteptarea la telefon, panele maşinilor etc. şi într-un mod general toate activităţile care pot prezenta strangulări. Această teorie a constituit obiectul a numeroase lucrări (D.G. Kendall, 1951 etc.) care pornesc de la ecuaţiile şi curbele lui Poisson şi care, sub denumirea de metode Monte-Carlo, folosesc adesea tehnici care constă în imitarea unui hazard de aceeaşi natură ca cel care intervine în problemă.

Abundenţa variabilelor care caracterizează cea mai mare parte a problemelor ridicate de cercetarea operaţională explică faptul că această disciplină a recurs în mod constant la statistică, la calculul probabilităţilor şi la marile calculatoare electronice moderne. Această disciplină trebuia de asemenea să se sprijine şi pe nivele de cercetare în care dificultatea nu provine neapărat din numărul mare de date, ci este inerentă structurii problemelor. De aici au apărut legăturile sale cu teoriile informaţiei, ale jocurilor strategice, ale grafurilor etc. Cooperarea unor discipline ştiinţifice atît de diferite a permis adesea să se dea o formulare precisă şi raţională unor intuiţii care mai înainte rămîneau privilegiul a cîţiva conducători de întreprinderi, sau a unor oameni de stat.

În acelaşi timp în care ea se impunea în domeniile de activitate cele mai diferite, dezvoltarea rapidă a cercetării operaţionale conducea la crearea unor asociaţii naţionale (Marea Britanie, 1948 etc.) şi internaţionale, şi la publicarea a mai multor mii de articole şi lucrări.

Vom semnala şi *jocurile de întreprinderi*, care permit, prin prezentarea unor dosare fictive conducătorilor de întreprinderi şi prin înregistrarea deciziilor lor, să se calculeze cu ajutorul maşinilor, consecinţele care ar rezulta din aceste decizii, ţinînd seama şi de hazardul normal. Primele jocuri de întreprinderi au fost realizate de American Management Association şi de Compania Mac Kinsey în 1956. Astfel de exerciţii nu aveau decît un scop pedagogic şi informativ, dar se poate spera că ele vor fi folosite într-un mod eficace în gestiunea întreprinderilor.

INDUCŢIA AUTOMATĂ. INSTRUIREA INTELIGENŢEI. Automatizarea spiritului de fineţe are ca scop cucerirea domeniilor inducţiei şi instruirii.

Prelungind lucrările lui Grey Walter (1951) asupra reflexelor condiţionate artificiale, dr. A.M. Uttley a dat o teorie a maşinilor de inducţie care a servit ca punct de plecare şi chiar de model mai multor proiecte şi unor realizări ale sale (1954—55) şi ale lui F.H. George, G. Pask, Stafford, Berr toţi englezi etc. Maşina lui T. Kilburn, R.L. Grimsdale şi F.H. Summer (1957—1959), îmbunătăţeşte după un anumit număr de experienţe, programele cu care a fost dotată, eliminînd procedurile defectuoase şi reţinînd pe cele reuşite, cărora le măreşte eficacitatea prin referirea la soluţii obţinute în probleme mai simple. De exemplu, dacă i se dau primele numere ale unui şir (a cărui lege de formare este aleasă destul de uşor), maşina va găsi termenul următor.

Maşina de jucat jocul de dame a lui Samuel este o maşină de învăţat care nu repetă indefinit aceeaşi greşeală; şi alte aparate analoage sînt capabile să-şi amintească o adaptare. Oettinger a construit de asemenea o „maşină care se instruieşte". În apropierea acestor cercetări vom cita teoria sistemelor pe care dr. J. Sauvan le numeşte multistatice şi ale cărei modele S4 şi S5 reprezintă aparate care se reorganizează interior pe măsură ce recepţionează mesaje exterioare. Ele au o „comportare epigenetică pseudo-programată" care aminteşte mecanismele instinctului şi al dezvoltării embrioanelor.

Se poate obţine o perfecţionare şi realiza ceea ce se numeşte de obicei o gîndire creatoare? În planul ideilor, Mac Kay a propus proiecte de maşini capabile să formeze concepte noi şi în particular ipoteze nebanale. De altfel, în 1950, Buckner a demonstrat că un servo-mecanism reprezintă totdeauna şi nu poate reprezenta decît o ecuaţie (sau un sistem de ecuaţii) a lui Pfaff (Torres Quevedo a demonstrat reciproca acestei teoreme la începutul secolului al XX-lea). Aceste algoritme nereprezentînd decît o mică parte din arsenalul matematicii, rezultă că servomecanismele nu pot pretinde să reprezinte toate operaţiile gîndirii. Dar poate este posibil să se obţină progrese în această problemă cu alte dispozitive.

Fără îndoială că prin „amplificatorii de inteligenţă" ai lui Ashby (1956), cibernetica îşi dovedeşte cea mai mare ambiţie, dar şi cel mai mare curaj.

Conform autorului lor, problema fundamentală a sintezei inteligenţei nu ar consta în crearea de idei noi, ci în calitatea de a şti să facă o alegere convenabilă dintr-un mare număr de idei oarecare. Maşini capabile de o astfel de alegere ar putea deci — dacă ar exista — să depăşească nu numai forţele ci şi capacităţile intelectuale ale constructorilor lor. Admiţînd această posibilitate nu este clar cum ar putea fi efectuată rapid şi eficace o alegere dintr-o mulţime de informaţii care pare comparabilă cu mulţimea textelor din celebra parabolă a „maimuţelor dactilografe".

Aceste proiecte îndrăzneţe dar nesigure aparţin mai degrabă viitorului ştiinţelor decît istoriei lor[9]. Preferăm să terminăm această trecere în revistă prin citarea unor realizări infinit mai modeste, dar efective. Acestea sînt maşinile pentru demonstrarea teoremelor matematice; ele reprezintă un amestec a tipurilor deductiv şi inductiv. Teoriile acestor maşini au fost dezvoltate în special de Newell, Shaw şi Simon, Hao Wang (1958), P.C. Gilmore (1959), H. Gelernter, Hansen şi Loveland, Armer, M. Carton (1960), Minsky (1961) , J. Pitrat (1962).

Maşina lui H. Gelernter, (I.B.M., New York) poate găsi teoreme de geometrie euclidiană. Ea se compune dintr-o maşină de calcul sintactică (pentru tratarea sistemului formal), dintr-o maşină de calcul diagramatică (care conţine diagrama necesară demonstraţiei teoremei) şi o maşină de calcul euristică, care foloseşte cele două blocuri precedente şi caută lanţul raţionamentelor care permite trecerea de la ipoteze (sau date) la concluzii (sau rezultate). Maşina *Logic Theorist* a lui A. Newell, J.C. Shaw şi H.A. Simon a fost astfel programată pentru a obţine teoreme pornind de la axiomatica lui Bertrand Russell.

---

[9] În ultima vreme, abordarea cibernetică s-a scufundat într-o alta, mai cuprinzătoare, pe care am putea-o numi abordarea sistemică. Nenumărate drumuri, venind din ştiinţe dintre cele mai variate, au dus în mod inevitabil la un mod funcţional şi global de analiză a fenomenelor, un mod în care interdependenţa elementelor, integralitatea şi funcţionalitatea pe care ele o realizează sînt primordiale. Abordarea sistemică include nu numai abordarea cibernetică, dar şi pe cea structuralistă precum şi pe cea semiotică, reţinînd de la fiecare dintre acestea caracteristicile mai importante, dar depăşindu-le prin eficienţă şi prin lărgime a viziunii. În matematică, viziunea sistemică îşi croieşte drum de multă vreme, accentul căzînd din ce în ce mai mult pe formaţiuni de obiecte eterogene, în care nu atît anatomia lor internă, cît „maşinăria" în care ele sînt angrenate este importantă. Sistemele formale, cu întreaga lor varietate, de la Hilbert pînă în zilele noastre, maşinile Turing, automatele finite, automatele cu pile de memorie, automatele liniare, diferitele tipuri de gramatici devin modele cu o înaltă funcţie explicativă sau piese ale unor astfel de modele în raport cu sisteme mai complexe care apar în ştiinţele naturii şi în tehnică, în ştiinţele umane şi sociale. Dintre teoreticienii viziunii sistemice vom menţiona aici pe L. von Bertalanffy şi pe L. Zadeh. Acesta din urmă este şi creatorul teoriei mulţimilor vagi (*fuzzy sets*), cu largi aplicaţii în toate domeniile în care se lucrează cu colecţii de obiecte vag definite („mulţimea numerelor foarte mari", „mulţimea oamenilor care au chelie" etc.). — *S.M.*

CAPITOLUL X
Viața matematică în secolul al XX-lea

MIJLOACE DE COMUNICARE. Ca în toate științele, caracteristica prin care viața matematică modernă se manifestă în primul rînd este reprezentată de enorma creștere a numărului de cercetători și de publicații. Aspectul exponențial al acestei creșteri, apărut încă din ultima treime a secolului al XIX-lea, se menține în ansamblu, în ciuda celor două războaie mondiale și a agitațiilor sociale pe care le-au antrenat. În timp ce prin 1880 nu existau în lume decît vreo 20 de reviste consacrate matematicii, astăzi există mai multe sute, devenind imposibilă menținerea la curent cu mișcarea matematică fără a avea la dispoziție o bibliotecă conținînd cel puțin 50 dintre publicațiile periodice cele mai importante. Mulțimea revistelor și posibilitățile mărite de publicare tind, pe de o parte, să accelereze difuzarea ideilor noi, iar pe de alta, să o contrazică, prin simpla imposibilitate materială de a citi tot ceea ce se publică și a discerne fără călăuză noutățile valoroase de articole mai mult sau mai puțin banale. Pentru a remedia această dificultate, se dispune întîi de jurnale consacrate analizei (mai mult sau mai puțin sumare) a altor publicații: vechiul „Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik" fondat în 1868, dezavantajat de o întîrziere de mai mulți ani după războiul din 1914, a cedat locul în 1932 lui „Zentralblatt für Mathematik", căruia i s-au adăugat în 1940 revistele „Mathematical Reviews" (americană) și mai recent „Referativnîi Jurnal" (sovietică). Dar în ciuda unei creșteri enorme a numărului lor de pagini anuale și a colectivelor lor de redacție, aceste reviste cu mare greutate reușesc să nu fie copleșite de valul mereu în creștere al articolelor pe care trebuie să le analizeze.

Din fericire, la dispoziția matematicienilor de astăzi stau și alte mijloace pentru a separa „grîul de neghină" și a menține comunicații eficace. Paralel cu înmulțirea periodicelor, a avut loc și cea a lucrărilor didactice, care se grupează adesea în serii de monografii (uneori destul de specializate); cele mai vechi din aceste colecții sînt: faimoasa *Colections Borel* în Franța (fondată în 1898), *Cambridge tracts* în Anglia prin (1910), *Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften* și *Ergebnisse der Mathematik*, apărute în Germania puțin după 1920; ele au servit ca model la multe altele, nu numai în aceleași țări, dar, în special, și în U.R.S.S. și S.U.A. De asemenea astăzi se întîmplă rar ca o nouă teorie să aștepte mai mult de zece ani pentru a constitui obiectul unor expuneri didactice.

Pentru necesităţi mai urgente ale cercetării, experienţa germană a seminariilor, destinată analizării stării unei probleme sau a trecerii în revistă a celor mai importante noutăţi, este universal răspîndită. Adesea, expunerile efectuate cu această ocazie sînt multiplicate şi pot fi puse la dispoziţia unui public mai numeros: acelaşi lucru este valabil şi pentru cursurile speciale expuse în numeroase universităţi.

În sfîrşit, alături de marile Congrese internaţionale, care din 1900 au loc la fiecare patru ani (cu două întreruperi datorite războaielor mondiale), s-au înmulţit reuniunile mai restrînse, colocviile, simpozioanele, grupele de cercetare, în care se întîlnesc un mănunchi mai mult sau mai puţin redus de specialişti care îşi confruntă descoperirile lor recente şi discută problemele la ordinea zilei din domeniul respectiv.

Toată această enormă dezvoltare, n-a fost posibilă, din punct de vedere material, decît prin intervenţia din ce în ce mai masivă a guvernelor (şi într-o mai mică măsură, a mecenatului industriei particulare) în acordarea de burse de studii şi în finanţarea universităţilor şi a diverselor centre de cercetare în care matematicienii pot găsi timpul necesar pentru a se dedica lucrărilor lor, fără a fi supuşi obligaţiei de a asigura un serviciu greu în învăţămîntul elementar pentru a se întreţine. De asemenea, datorită tot unor astfel de subvenţii (fie directe, fie acordate bibliotecilor universitare), se pot publica numeroasele reviste de care am vorbit mai sus.

DEŞTEPTAREA ŞCOLILOR NAŢIONALE. Pînă la războiul din 1914, şcolile germană şi franceză, dominate de cei mai iluştri reprezentanţi, D. Hilbert şi H. Poincaré, genii universale de o rară anvergură, au continuat să exercite în matematică o preponderenţă necontestată. Alături de ele, singurele focare de cercetare matematică care numărau participanţi numeroşi şi activi erau Italia şi Anglia; prima străluceşte în special prin şcolile de geometrie algebrică (Enriques, Castelnuovo, Severi), de geometrie diferenţială (Levi-Cività, E.E. Levi) de analiză funcţională din jurul lui Volterra, şi nu va suferi o eclipsă (din care a început să iasă abia azi) decît începînd de prin 1935; în timp ce după moartea lui Cayley şi a lui Sylvester, şcoala engleză, schimbînd direcţia, s-a grupat începînd din 1910 în jurul lui Hardy şi Littlewood, intrînd pentru vreo 30 de ani într-o fecundă serie de descoperiri asupra analizei clasice şi a aplicaţiilor sale la teoria numerelor, înainte de a ceda locul, în perioada actuală unei strălucite şcoli de algebrişti şi de topologişti.

După 1918, Franţa, al cărui tineret ştiinţific a făcut sacrificii mari în hecatomba războiului, şi-a restrîns activitatea timp de zece ani şi, cu excepţia lui Élie Cartan (care de la moartea lui Poincaré lucrează într-o izolare completă), şcoala matematică franceză s-a mărginit la domeniul restrîns al teoriei funcţiilor de o variabilă reală sau complexă, a cărei dezvoltare considerabilă din jurul anului 1900 a constituit în mare parte aportul său (prin Picard, Hadamard, Borel, Baire, Lebesgue, apoi Montel, Denjoy, Julia), Germania, care, dimpotrivă, a ştiut să apere mai bine viaţa savanţilor ei, şi-a păstrat intacte tradiţiile de universalitate; printre altele ea a cunoscut înflorirea unei remarcabile şcoli de algebră şi de teorie a numerelor (E. Noether, Siegel, Artin, Krull, R. Brauer, Hasse, la care trebuie adăugat şi olandezul B.L. van der Waerden), care a inaugurat în matematica modernă tendinţa axiomatică şi abstractă ai cărei germeni apăruseră în lucrările lui Hilbert şi Dedekind; între 1920 şi 1933 aceşti matematicieni au asigurat universităţilor germane, spre care se îndreptau studenţii tuturor ţărilor (în special tineri francezi, veniţi pentru a reînnoi tradiţiile uitate la ei), o strălucire şi o influenţă excepţionale, din nefericire întrerupte brutal de epoca hitleristă; a trebuit să se aştepte pînă prin 1950 pentru ca şcoala germană să se reconstituie, influenţată de data aceasta (printr-o curioasă răsturnare de situaţie) de către matematicienii francezi de tendinţă „bourbakistă".

Totuşi, fenomenul cel mai important după 1918 îl constituie apariţia pe scena matematică a unor viguroase şcoli naţionale în ţări care nu au avut pînă atunci decît cîţiva savanţi izolaţi care să fi atins un renume internaţional. Chiar înainte de sfîrşitul primului război mondial trebuie citate în primul rînd U.R.S.S. şi Polonia, de unde au apărut o pleiadă de matematicieni de prim ordin (Alexandrov, Urîson, Kolmogorov, Vinogradov, Petrovski, apoi Pontreaghin, Ghelfand în U.R.S.S.; W. Sierpiński, Kuratowski, Banach, apoi Shauder, Eilenberg, Zygmund etc. în Polonia); dezvoltarea bazelor topologiei şi ale analizei funcţionale moderne se datorează în special eforturilor acestora. În U.R.S.S. acest elan nu va scădea, continuînd să creeze foarte numeroşi matematicieni. În ceea ce priveşte Polonia, în care 50% dintre matematicieni au fost masacraţi de către nazişti, se încearcă deocamdată umplerea golurilor şi reluarea mersului înainte.

În Statele Unite, formarea unei tradiţii matematice a fost mai lentă, desfăşurîndu-se pe trei generaţii; începînd din jurul anului 1900 (în special cu E.H. Moore, Dickson, Osgood, apoi G.D. Birkhoff, Veblen, Alexander, M. Morse) ea primeşte după primul război mondial, şi mai ales după 1933, o întărire neaşteptată prin emigrarea în masă a savanţilor europeni izgoniţi de regimurile totalitare; ei sînt cei care vor ajuta puternic la înflorirea, după 1940, a strălucitei şi nestatornicei şcoli americane actuale (care în special s-a plasat pe primul plan în ultimii ani prin descoperirile sale senzaţionale în topologia algebrică şi în topologia diferenţială).

În Japonia, sfîrşitul celui de-al doilea război mondial este cel care conduce la repetarea fenomenului exploziv manifestat de Rusia din 1920; dar strălucita şcoală japoneză, prea numeroasă pentru un sistem universitar rigid şi sărac, a pierdut în folosul altor ţări (în special pentru Statele Unite) pe mulţi din cei mai remarcabili reprezentanţi ai săi.

Această înflorire a noilor talente nu se limitează la marile ţări; peninsula scandinavă n-a încetat din 1900 să furnizeze cu regularitate contingentul său de matematicieni eminenţi. Remarcabil este şi cazul Ungariei, de unde au apărut matematicieni de valoare, printre care se numără şi unii dintre şefii de şcoală ai gîndirii matematice contemporane (în special F. Riesz şi J. von Neumann).

În sfîrşit, este de presupus că a doua jumătate a secolului nostru va fi martora întăririi tradiţiilor matematice în ţări ca India sau America de Sud în care progresul intelectual pare strîns legat de îmbunătăţirea condiţiilor economice.

MARILE TENDINȚE. Un prim aspect care trebuie subliniat este separarea mai pronunţată în secolul al XX-lea decît în epocile anterioare, între matematica pură și matematica aplicată. Problemele de matematică pură au devenit atît de numeroase și de diverse, și necesită atîtea cunoştinţe prealabile pentru a putea fi abordate, încît ele absorb în prezent, în întregime, activitatea celor care le studiază, oricît de „universali“ ar fi ei. De asemenea, matematicienii care au atacat frontal problemele „pure“ și aplicaţiile constituie o excepţie în cadrul cărora J. von Neumann este fără îndoială singurul care a atins o notorietate mondială. Fără îndoială că fizica continuă să ridice un mare număr de importante probleme dificile și interesante matematicienilor; dar chiar în domenii cum sînt cele ale ecuaţiilor cu derivate parţiale, aceste probleme nu mai sînt astăzi cele mai importante. Aici, ca și în alte domenii, ele au cedat pasul problemelor care sînt strîns legate de dezvoltarea intrinsecă a ideilor matematice, și de cercetarea *structurilor* esenţiale care guvernează fenomenele.

Astfel, acum există, pe lîngă matematicienii „puri“ (care s-a retras treptat din „realitate“), o întreagă serie de ştiinţe paramatematice în care cercetătorii se ocupă cu traducerea în rezultate aplicabile în practică a speculaţiilor abstracte ale colegilor lor; aceste aplicaţii au abundat mai ales după ce calculatoarele electronice au permis luarea în considerare a posibilităţii unor calcule numerice a căror lungime le făcea altădată inabordabile. Mai înainte, aplicarea din ce în ce mai intensă a metodelor statistice în numeroase domenii condusese, după aproximativ 1910, la o „specializare“ a acestora, strîns legată dealtminteri de calculul probabilităţilor (care de asemenea a căpătat după 1930 un caracter mult mai teoretic și abstract).

În sfîrșit, trebuie menţionată dezvoltarea mai neaşteptată în paralel cu însăși matematica, a logicii matematice, care în prezent pare a constitui un domeniu al matematicii aplicate. Apărută din marile controverse de la începutul secolului asupra bazelor matematicii, ea a împrumutat de la matematică — după o idee fundamentală a lui Hilbert — propriile instrumente ale acesteia pentru a-i studia mai bine mecanismul; ea n-a încetat să atragă numeroşi cercetători, și datorită unor talente de prim ordin ca Gödel și Novikov, ea a putut răspunde (cel mai adesea prin negare), la un mare număr de probleme asupra *posibilităţii* rezolvării unor probleme matematice prin metode date, chestiuni a căror dificultate pare să sfideze analiza.

În interiorul însuși al matematicii pure se asistă la o luptă continuă a tendinţelor spre specializare și spre concentrare. Datorită enormei creşteri a numărului de cercetători, a rezultatelor și metodelor de abordare, se pare că prima dintre aceste tendinţe ar trebui în mod fatal să învingă, datorită imposibilităţii cvasifizice de a stăpîni un domeniu atît de vast; destinul inevitabil al matematicii ar fi deci de a se fărîmiţa într-o mulţime de discipline autonome care să se ignoreze mai mult sau mai puţin reciproc.

Pînă la începutul acestui secol marii matematicieni au știut totdeauna să depășească această tentaţie a specializării; se observă la ei cum ideile lor au acţionat fără încetare și cu folos între diversele părţi ale matematicii. Dar fără îndoială că, printr-o reacţie împotriva pericolului specializării nestăvilite, epocii noastre i-a fost hărăzit să vadă apariţia unor eforturi sistematice de concentrare care tind să regrupeze matematica în jurul cîtorva principii generale permiţînd să-i domine diversele aspecte.

Școlii germane, și în special lui Hilbert, i se datorează primii pași în această direcție. Dîndu-și seama că teoria mulțimilor a lui Cantor, împreună cu aritmetizarea progresivă a diferitelor ramuri ale matematicii din secolul al XIX-lea, furniza întregii matematici o bază unică, Hilbert și Dedekind au dat, încă din ultimii ani ai secolului al XIX-lea, primele exemple de teorii axiomatice abstracte, dezvoltate conștient în vederea înglobării mai multor teorii matematice existente, care nu mai apăreau decît drept cazuri particulare, fiind astfel „explicate“ pe un plan superior. Acest efort a fost însoțit dealtfel de o schimbare foarte clară a stilului, disertația continuă (uneori pusă în valoare cu pretenții literare) a maeștrilor secolului al XIX-lea fiind înlocuită printr-o expunere sobră și foarte încărcată în definiții, axiome și propoziții, necesară clarității dezvoltării logice.

Începînd din 1910, prin Steinitz și Hausdorff în Germania, apoi prin școlile poloneză și germană de după război, această mișcare a căpătat o forță din ce în ce mai mare dominînd încetul cu încetul gîndirea matematică modernă. Ea s-a concretizat în numeroase lucrări, dintre care cea mai ambițioasă este reprezentată de *Eléments de mathématique* de N. Bourbaki, redactată începînd din 1935 de un grup de matematicieni (în majoritate francezi aparținînd, în special la început, generației care a încercat să redea școlii franceze vocația sa tradițională de „universalitate“ întreruptă un moment după 1920). Acest tratat reia studiul matematicii de la origine, fără a presupune nici o cunoștință prealabilă: el grupează diferitele domenii ale matematicii nu conform diviziunilor tradiționale, bazate pe aspectul lor superficial, ci după legăturile lor profunde, degajate prin punerea în lumină a structurii lor axiomatice. Dacă față de metodele învățămîntului elementar (rămase foarte în urmă față de progresul științei) pare revoluționară, această lucrare colectivă (fără îndoială prima de acest tip) nu face în realitate altceva decît să codifice ideile și curentele care sînt comune aproape tuturor matematicienilor actualmente în plină activitate; acestea sînt ideile care îi conduc în cercetările lor cu succes nedezmințit și în favoarea cărora depun mărturie vechile probleme care păreau să opună o barieră de netrecut acum 40 de ani și care în ultimii ani cad unele după altele ca niște castele de cărți sub loviturile tinerilor și remarcabililor reprezentanți ai matematicii moderne[1].

---

[1] Față de clasificarea disciplinelor matematice în nouă domenii mai cuprinzătoare (teoria numerelor, teoria mulțimilor, algebra și topologia, teoria funcțiilor reale, teoria funcțiilor de variabilă complexă, ecuații diferențiale, analiză funcțională, geometrie, calculul probabilităților și cibernetica), așa cum este ea întreprinsă în cartea de față, dezvoltarea matematicii în ultimul deceniu a adus unele amendamente. Să observăm mai întîi absența logicii matematice, disciplină de amploare, care constituie baza teoretică a informaticii. Deși cu puternice interferențe cu matematica, cibernetica nu poate fi considerată o ramură a matematicii. A avut loc o comasare sau eliminare a unor discipline, pe de o parte, și o diversificare considerabilă a altora, pe de altă parte. Acest fenomen poate fi urmărit cu ușurință în revistele internaționale de referate („Mathematical Reviews“, „Referativni Jurnal“, „Zentralblatt für Mathematik und ihre Grenzgebiete“, „Bulletin Signalétique“), unde la fiecare cîțiva ani are loc o reașezare a disciplinelor. Astfel, în 1974 revista „Mathematical Reviews“ conține secțiuni care nu existau în urmă cu douăzeci de ani: General Mathematical Systems, Combinatorics, Category Theory, Operator Theory, Optimal Control, Global Analysis, Computer Science, Information and Communication și multe altele. — *S.M.*

ŞCOALA MATEMATICĂ ROMÂNEASCĂ. În România, cercetarea matematică s-a ilustrat, în primele cinci decenii ale secolului nostru, printr-un număr de personalităţi remarcabile, care au impus-o în lume: Spiru Haret, pionier al folosirii metodelor matematice în sociologie; Dimitrie Pompeiu, cu o teză răsunătoare asupra continuităţii unei funcţii de variabilă complexă pe mulţimea singularităţilor ei, autor al derivatei areolare şi al distanţei dintre două mulţimi închise; David Emmanuel şi Anton Davidoglu, cu importante merite în dezvoltarea învăţămîntului matematic universitar şi în formarea şcolii matematice româneşti; Traian Lalescu, unul dintre fondatorii teoriei ecuaţiilor integrale, autor al primei monografii din lume dedicate acestui domeniu; Gheorghe Ţiţeica, iniţiator al unor capitole din geometria diferenţială, proiectivă şi afină, descoperitor al unor suprafeţe, curbe şi reţele devenite celebre şi care-i poartă numele; Florin Vasilescu, cu contribuţii esenţiale în teoria potenţialului; Simion Stoilow, creator al teoriei topologice a funcţiilor de variabilă complexă, autor al noţiunii de transformare interioară; Victor Vâlcovici, cu lucrări de mecanică teoretică, mecanica fluidelor perfecte şi teoria elasticităţii; Alexandru Miller, iniţiator şi îndrumător al şcolii de geometrie diferenţială de la Iaşi; Octav Mayer, cu lucrări de geometrie diferenţială şi geometrie proiectivă; Octav Onicescu şi Gheorghe Mihoc, iniţiatori ai şcolii româneşti de teoria probabilităţilor, creatori ai teoriei lanţurilor cu legături complete, care a constituit ulterior baza teoriei matematice a învăţării; Miron Nicolescu, creatorul teoriei funcţiilor poliarmonice şi policalorice, autor, în acest domeniu, al unor teoreme devenite clasice; Gheorghe Vrănceanu, cu rezultate importante în teoria spaţiilor neolonome şi a relativităţii generalizate; Dan Barbilian, cu lucrări profund originale în domeniul geometriei, al algebrei axiomatice şi al teoriei numerelor; Gr. C. Moisil, pionier al metodelor funcţionale în mecanică şi geometrie diferenţială, autor al unor noi puncte de vedere în studiul logicilor cu mai multe valori şi în teoria algebrică a mecanismelor automate; Nicolae Ciorănescu, cu contribuţii în teoria ecuaţiilor cu derivate parţiale; Alexandru Froda, autor al teoremei clasice privind discontinuităţile de prima specie ale funcţiilor reale; Gabriel Sudan, autor al primului exemplu de funcţie recursivă care nu este primitiv recursivă şi al soluţiei unei probleme puse de Hilbert în 1926, în legătură cu ipoteza continuului; Tiberiu Popoviciu, autor al conceptului, devenit clasic, de convexitate de ordin superior şi al unor importante rezultate în domeniul analizei numerice; Gheorghe Călugăreanu, cu contribuţii de seamă în teoria funcţiilor de variabilă complexă şi în teoria nodurilor; Nicolae Teodorescu, cu contribuţii privind geometrizarea ecuaţiilor cu derivate parţiale; Caius Iacob, cu lucrări de bază în mecanica fluidelor, autor al unui tratat de amploare în acest domeniu; Alexandru Ghika şi Gheorghe Marinescu, cu merite în dezvoltarea analizei funcţionale; Mendel Haimovici, cu contribuţii în geometrie şi mecanică.

După 1950, sub influenţa condiţiilor deosebit de prielnice create cercetării ştiinţifice din ţara noastră, cercetarea matematică ia un avînt deosebit, prin crearea unor puternice şcoli conduse de maeştrii formaţi înainte de război, ca profesorii Simion Stoilow, Octav Onicescu, Gheorghe Vrănceanu, Miron Nicolescu, Gr. C. Moisil, Tiberiu Popoviciu, Octav Mayer, Caius Iacob, atît în cadrul universităţilor cît şi în cadrul institutelor de matematică ale Academiei. În momentul de faţă, există şcoli româneşti de prestigiu internaţional în următoarele domenii: teoria potenţialului, teoria operatorilor, teoria măsurii şi integralei, teoria funcţiilor de mai multe variabile complexe; geometria diferenţială şi topologia algebrică şi diferenţială; analiza funcţională; teoria calitativă a ecuaţiilor diferenţiale; algebra şi teoria categoriilor; mecanica fluidelor; teoria probabilităţilor; teoria transformărilor cvasiconforme; convexitatea de ordin superior şi analiza numerică; prognoză şi dezvoltare; lingvistica matematică. În fiecare dintre aceste domenii, un mare număr de matematicieni străini au folosit şi citat lucrările româneşti, le-au continuat şi le-au dezvoltat, au venit în România în schimb de experienţă sau pentru specializare.

În ultima vreme se dezvoltă impetuos aplicaţiile matematicii în economie, în informatică, în biologie şi medicină, în ştiinţele umane şi sociale, fiind în curs de formare noi şcoli, la care participă cele mai tinere generaţii de matematicieni. — *S.M.*

PARTEA A DOUA

ȘTIINȚELE FIZICE

CAPITOLUL I

Fizica atomică şi cuantică contemporană

SITUAŢIA FIZICII PE LA 1900. Secolul al XIX-lea a constituit perioada triumfătoare a ceea ce numim „fizica clasică“, adică a acelei fizici care studiază fenomenele direct observabile la scara noastră. Moştenind în aceste domenii cuceririle secolelor precedente, acest secol a fost martorul stabilirii definitive, pe baze de nezdruncinat, a mecanicii teoretice şi aplicate a corpurilor la scară macroscopică, a hidrodinamicii, a acusticii, a opticii geometrice... El a fost martorul apariţiei şi dezvoltării rapide a opticii fizice, dominată de teoria ondulatorie a lui Fresnel, a teoriei propagării căldurii a lui Fourier, a ştiinţei electricităţii care, de la Coulomb şi Galvani pînă la Ampère şi Faraday, n-a încetat să progreseze cu paşi uriaşi pentru a ajunge la minunata sinteză a lui Maxwell; el a mai fost şi martorul apariţiei termodinamicii care, datorită lucrărilor unora ca Sadi Carnot, Mayer, Joule, Clausius..., a devenit o ştiinţă autonomă şi cuceritoare, capabilă să ofere tuturor celorlalte ramuri ale fizicii forme de raţionament şi noţiuni generale susceptibile să găsească peste tot largi domenii de aplicaţie.

Şi totuşi, cu toate aceste succese rapide şi strălucitoare, fizica de la sfîrşitul secolului al XIX-lea suferea de unele boli ascunse. Avîntul ei reprezenta extinderea naturală a celui al mecanicii din secolele al XVII-lea şi al XVIII-lea; dar în timp ce mecanica, în forma sa originală, se baza mai mult sau mai puţin explicit pe noţiunea de „puncte materiale“ simbolizînd o structură discontinuă a materiei, fizica modernă (şi chiar mecanica, în momentul în care a luat forme adaptate la reprezentarea mediilor continue în hidrodinamică şi în teoria elasticităţii) începuse să folosească din ce în ce mai mult reprezentări continue, care să-i permită utilizarea unor ecuaţii cu derivate parţiale. Optica lui Fresnel, electromagnetismul lui Maxwell, termodinamica teoretică bazată pe principiile de conservare a energiei şi de creştere a entropiei făceau în întregime abstracţie de orice structură discontinuă a materiei sau a energiei şi păreau să excludă din fizica teoretică orice concepţie asupra discontinuului. Dar aspectul discontinuu nu se lăsa atît de uşor eliminat din realitatea fizică cum ar fi dorit anumiţi teoreticieni: punctul material rămînea la baza legilor experimentale ale mecanicii; chimiştii, chiar cei care vedeau în acest aspect o imagine comodă fără a adera de fapt la el, recunoşteau utilitatea teoriei atomice a materiei; legile electrolizei descoperite de Faraday sugerau şi ele existenţa unei construcţii discontinue a electricităţii.

De asemenea, curentului general, care îi conducea pe fizicieni spre reprezentări continue ale lumii fizice, i se opunea un contra-curent: teoreticieni curajoşi căutau să reintroducă în imaginile continue, general acceptate, elemente discontinue, capabile să le completeze şi să le scoată în evidenţă sensul adevărat. Clausius, Maxwell şi mai ales Boltzmann, care au restaurat în fizică noţiunile de atom şi de moleculă, au încercat să construiască teorii „cinetice" ale materiei şi să găsească o interpretare a principiilor abstracte ale termodinamicii şi în special a noţiunii de entropie. Convins de existenţa unei structuri discontinue a electricităţii, H.A. Lorentz a înlocuit teoria electromagnetică a lui Maxwell printr-o teorie mai fină în care interveneau, sub numele generic de electroni, sarcini electrice localizate şi corpusculare.

Aceste încercări, încă hibride şi uneori insuficient susţinute, întîmpinau opoziţia violentă a şcolii „energetiste", care se ridica astfel împotriva efortului „atomiştilor". Spirite eminente cu tendinţe spre abstractizare, influenţate mai mult sau mai puţin de filozofiile idealiste sau pozitiviste, ca E. Mach, W. Ostwald, P. Duhem, se opuneau introducerii în fizică a unor elemente discontinue care scăpau oricărei observaţii directe. Punctul lor de vedere, exprimat adesea cu intransigenţă, era împărtăşit de majoritatea fizicienilor.

Dar, între 1880 şi 1900, se acumulaseră probe experimentale în favoarea existenţei unei structuri discontinue a materiei şi a electricităţii. Studiul descărcărilor în gaze şi analiza fenomenelor de electroliză au condus la ideea că în gaze şi în lichide puteau exista atomi sau grupări de atomi, ionii, care transportau sarcini electrice, reprezentînd totdeauna multipli întregi ai unei unităţi fundamentale. Studiul descărcărilor în tuburile Crookes, care provocau apariţia „radiaţiilor catodice", indica în plus că electricitatea negativă era totdeauna transportată de mici corpusculi, extraordinar de uşori, cărora, treptat, a început să li se spună electroni. Aceşti electroni erau regăsiţi, mereu aceiaşi, în emisia fotoelectrică a unor metale supuse iradierii cu lumină de lungime de undă suficient de scurtă, în emisia termoionică a filamentelor încălzite pînă la incandescenţă şi, mai tîrziu, în radiaţia corpurilor radioactive; se puteau urmări traiectoriile lor, se putea determina deviaţia de la traiectoria lor rectilinie sub acţiunea cîmpurilor electrice sau magnetice, se putea măsura raportul dintre sarcina şi masa lor. Atribuind emisia de radiaţii a materiei mişcării electronilor în atomi, Lorentz a reuşit să prevadă că radiaţiile emise de o sursă luminoasă erau modificate într-un anumit mod cînd sursa era dispusă într-un cîmp magnetic, iar în 1896, experienţele lui Zeeman au adus o remarcabilă confirmare a acestei ipoteze.

Treptat, cu toată rezistenţa energetiştilor, afirmaţia atomiştilor, după care, în spatele aparenţelor continue ale fenomenelor observabile la scara noastră, se ascunde, la o scară mult mai mică, o realitate profundă în care discontinuităţile corpusculare joacă un rol esenţial, se dovedea, cu fiecare zi, tot mai mult în concordanţă cu experienţa. În felul acesta, se schiţau începuturile unei mari schimbări în istoria fizicii: cotitura a avut loc, dar, datorită apariţiei cu totul neaşteptate a cuantelor în ştiinţă, ea a fost mai accentuată decît se prevedea.

TRIUMFUL ATOMISMULUI ŞI APARIŢIA CUANTELOR (1900—1912). Începînd din 1900, în timp ce toţi chimiştii se alăturau de acum fără nici o reţinere ipotezei atomice, fizicienii adunau o serie de probe experimentale indirecte, evident, dar remarcabil de convergente în favoarea existenţei atomilor şi moleculelor. În Franţa, numele lui Jean Perrin rămîne legat de această fază a istoriei fizicii, pentru care memorabila sa lucrare *Les atomes* reprezintă o expunere remarcabilă. Experienţe cruciale efectuate în această epocă au constat în evaluarea prin metode foarte diverse a celebrei constante cunoscute sub numele de „numărul lui Avogadro". Dacă se adoptă ipoteza atomică, trebuie admis, după cum au arătat, pe la 1815, Ampère şi Avogadro, că molecula-gram dintr-un corp oarecare conţine totdeauna acelaşi număr de molecule. Această constantă a atomismului, numărul lui Avogadro, a fost cea care a constituit obiectul a numeroase determinări experimentale între 1900 şi 1910 prin măsurători care sînt expuse în cartea lui Jean Perrin. Remarcabila concordanţă a determinărilor astfel efectuate, prin metode foarte diferite, aducea în sfîrşit o confirmare absolut convingătoare a existenţei atomilor şi moleculelor. Arătînd că numărul lui Avogadro are o valoare enormă (aproximativ $6 \cdot 10^{23}$), aceste determinări au permis calculul masei atomului de hidrogen (aproximativ $1{,}6 \cdot 10^{-24}$ g şi, prin urmare, calcularea maselor tuturor atomilor şi moleculelor.

Triumfînd, în sfîrşit, în faţa ironiilor energetiştilor, teoria cinetică a materiei, sub forma sa mai generală a mecanicii statistice, datorată în special eforturilor lui Boltzmann şi Gibbs, a reuşit nu numai să interpreteze legile gazelor şi să precizeze sensul profund al celui de-al doilea principiu al termodinamicii, ci şi să prevadă fenomene care scăpau complet prevederilor termodinamicii clasice, ca mişcarea browniană, care reflectă la scara noastră agitaţia haotică a moleculelor, sau ca fluctuaţiile de energie şi de densitate, puse în evidenţă cu claritate prin fenomenele de opalescenţă critică. Diferite lucrări teoretice, şi în special cele ale lui Einstein şi Smoluchowski, bazate pe mecanica statistică, au furnizat teoria acestor fenomene, iar experienţa, confirmînd previziunile teoretice, a adus şi aici probe noi şi foarte importante în favoarea existenţei unei structuri discontinue a materiei.

Pe la 1910, atomiştii erau deci triumfători, în timp ce energetiştii cei mai încăpăţînaţi depuneau armele. Şi, ca o curioasă revanşă, succesul atomiştilor a fost mai mare decît se aşteptau ei înşişi. Discontinuitatea şi-a dovedit existenţa nu numai în sînul materiei, după cum credeau ei, ci ameninţa să se introducă şi în domeniul luminii, în care domnea de aproape un secol concepţia esenţial continuă ondulatorie şi, ceea ce pare şi mai extraordinar, continuitatea stărilor de mişcare, atît de strîns legată de continuitatea noţiunii de spaţiu şi de timp, părea ea însăşi pusă în pericol de apariţia cuantelor.

Originea teoriei cuantelor se găseşte în cercetările efectuate de fizicieni asupra problemei radiaţiei corpului negru.

Prin definiţie, radiaţia corpului negru este radiaţia care există în interiorul unei incinte, a unui cuptor menţinut la o temperatură uniformă. Bazîndu-se pe noţiuni generale de termodinamică, Kirchhoff putuse să demonstreze că această radiaţie depinde numai de temperatura incintei şi că este total independentă de natura pereţilor acestei incinte sau a corpurilor materiale ce există în ea. Tot cu ajutorul termodinamicii, Stefan şi Boltzmann demonstraseră că energia totală dintr-o unitate de volum creşte foarte rapid cu temperatura (cu puterea a patra a acesteia). Dar problema importantă rămînea cea a găsirii legii de distribuţie a radiaţiei corpului negru, adică a formulei care să reprezinte distribuţia spectrală a energiei radiaţiei pentru diferitele lungimi de undă pe care le poate avea. Aprofundînd analiza termodinamică, Wien a obţinut atunci o formulă de distribuţie în care rămînea totuşi o funcţie arbitrară; formula lui Wien aducea astfel precizări importante asupra distribuţiei spectrale, fără a reuşi însă să o determine în întregime.

După cercetările lui Wien, teoreticienii au observat că termodinamica a dat în această direcţie tot ceea ce putea să dea şi că, pentru a determina complet distribuţia spectrală a radiaţiei corpului negru, trebuia efectuată o analiză a schimburilor de energie între substanţă şi radiaţie.

Dar, în jurul lui 1900, aceasta părea uşor, deoarece teoriile corpusculare ale electricităţii şi în special teoria electronilor a lui Lorentz reuşiseră să reprezinte emisiile şi absorbţiile radiaţiei de către substanţă ca procese *continue*, despre care se credea că li se cunosc bine legile. Or, după cum a arătat mai întîi lordul Rayleigh şi apoi alţi teoreticieni ca J. Jeans şi H. Poincaré, dacă se admit aceste legi, atunci pentru distribuţia spectrală a energiei radiaţiei corpului negru se obţine obligatoriu o lege perfect de bine definită. Această lege este în acord cu legile termodinamice ale lui Stefan-Boltzmann şi Wien, dar ea introducea în prima lege un coeficient infinit care nu putea fi acceptat. Mai mult chiar, în timp ce teoreticienii studiau această problemă prin calcule, experimentatorii au determinat forma empirică a distribuţiei spectrale a radiaţiei corpului negru şi această formă s-a dovedit total incompatibilă cu legea Rayleigh-Jeans.

Deci, fizica acestei epoci se găsea în prezenţa unui eşec total al concepţiilor sale. Max Planck a fost cel care s-a apucat să studieze această îngrijorătoare problemă.

Pînă atunci Planck fusese mai ales un specialist în termodinamică: el reflectase mult timp asupra bazelor acestei ştiinţe căreia îi cunoştea toate ascunzişurile. Pus în prezenţa problemei radiaţiei corpului negru, el a încercat din instinct să precizeze toate caracteristicile termodinamice ale acestei radiaţii nu numai prin intermediul energiei sale, ci şi prin intermediul entropiei sale. Adoptînd concepţia continuă a emisiei şi a absorbţiei, admise în acea epocă, el a regăsit legea Rayleigh-Jeans. O împrejurare curioasă a condus la modificarea orientării cercetărilor sale[1]: cerînd părerea lui Boltzmann în privinţa lucrărilor sale, acest maestru, care cunoştea atît de bine bazele interpretării statistice a termodinamicii, i-a răspuns că nu va obţine niciodată o teorie satisfăcătoare a echilibrului între substanţă şi radiaţie, dacă nu va introduce o discontinuitate în procesele de emisie şi de absorbţie. Convins că ilustrul fizician trebuia să aibă dreptate, Planck şi-a orientat cercetările în noua direcţie şi în acest mod, după eforturi a căror descriere emoţionantă ne-a lăsat-o, el a reuşit să găsească faimoasa „formulă a lui Planck“, care reprezintă exact distribuţia spectrală a radiaţiei corpului negru. Pentru a o obţine, el a trebuit să presupună că în substanţă electronii nu pot fi animaţi de mişcări întîmplătoare, ci numai de anumite mişcări privilegiate, adică de mişcări cuantificate, şi a trebuit să admită în consecinţă că energia radiantă, de frecvenţă ν, este totdeauna emisă sau absorbită în cantităţi finite şi egale cu $h\nu$, unde h reprezintă o nouă constantă fundamentală a fizicii, constanta lui Planck, a cărei valoare numerică a fost imediat determinată printr-o comparaţie cu rezultatele experimentale.

---

[1] Am extras aceste amănunte din valoroasa lucrare postumă a lui R. Dugas, intitulată *La théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements moderns.*

Ipoteza cuantelor era foarte îndrăzneaţă. Ea părea să implice o discontinuitate a mişcărilor posibile ale unui corpuscul într-un cîmp de forţe, cu totul străină concepţiilor mecanicii clasice: aceasta era o formă de discontinuitate cu totul neaşteptată şi mai ales diferită, se pare, de cea întîlnită în structura materiei şi a electricităţii. Mai mult chiar, dacă emisia prin cuante a energiei radiante se putea, la urma urmei, împăca cu ideea admisă pe atunci că în lumină, sau mai general, în toate radiaţiile, energia este repartizată continuu, în schimb absorbţia prin cuante părea să implice existenţa unei structuri corpusculare a energiei radiante în contradicţie totală cu teoriile ondulatorii ale lui Fresnel şi Maxwell. Dar, în timp ce Planck ezita să admită această consecinţă extremă a propriilor sale idei, Einstein avea să aducă în favoarea sa un argument decisiv.

Într-adevăr, în 1905, Albert Einstein, care, în acelaşi an, avea să pună bazele teoriei relativităţii, descoperea singura explicaţie valabilă a misteriosului „efect fotoelectric". Această explicaţie consta în a admite că în orice radiaţie de frecvenţă ν, energia este concentrată în „grăunţe" sau „cuante de lumină", de valoare $h\nu$, numite astăzi fotoni, astfel că un metal fotoemiţător pe care cade o radiaţie luminoasă monocromatică primeşte de fapt o grindină de fotoni: dacă frecvenţa radiaţiei este suficient de mare, un electron conţinut în metal este capabil să absoarbă energia unui foton şi să fie expulzat în afara metalului sub formă de „fotoelectron" cu o energie cinetică care creşte proporţional cu frecvenţa. Legea fundamentală a efectului fotoelectric, care nu putea fi concepută pe baza concepţiilor clasice asupra luminii, era astfel demonstrată printr-o analiză de extremă simplitate. Aprofundînd consecinţele existenţei cuantelor de lumină, Einstein şi-a consolidat teoria sa, studiind în profunzime atît echilibrul radiaţiei şi al substanţei într-o incintă în echilibru termic, cît şi fluctuaţiile energiei radiaţiei. Simţind că nu putea fi abandonată complet imaginea undelor luminoase (necesară dealtminteri la definirea frecvenţei unei radiaţii şi prin urmare a energiei fotonilor corespunzători), Einstein a întrevăzut cu claritate necesitatea de a ajunge la o teorie sintetică a radiaţiei care să ţină seama în acelaşi timp atît de aspectul său corpuscular, cît şi de cel ondulatoriu şi a enunţat şi unele dintre condiţiile necesare unei asemenea sinteze.

Astfel, depăşind şi, într-un anumit sens, completînd ipoteza atomică, succesul teoriei cuantelor de lumină dovedea că discontinuitatea nu există numai în structura substanţei ci şi, sub o formă dificil de interpretat, în structura luminii şi a tuturor radiaţiilor. Ea părea să se extindă într-un mod cu totul neaşteptat chiar şi la mişcări. În acest mod, această ciudată teorie a cuantelor, care obţinea totuşi în fiecare zi noi succese, în special în interpretarea anumitor fenomene inexplicabile pînă atunci în domeniul căldurilor specifice, părea să îi împingă pe „atomişti“ mult peste limita la care ei ar fi dorit poate să se oprească.

TEORIA LUI BOHR ŞI DEZVOLTĂRILE EI (1913—1923). În 1913, teoria cuantelor a cunoscut o mare victorie: ea ne-a deschis larg porţile lumii atomice. Un tînăr fizician, Niels Bohr, care efectua atunci un stagiu în laboratorul condus de Ernest Rutherford la Cambridge, studiase amănunţit modelul atomului, analog unui sistem solar în miniatură, pe care ilustrul fizician englez îl propusese ca traducînd exact rezultatele faimoaselor sale experienţe asupra deviaţiei suferite de radiaţiile α cînd acestea traversează substanţa; el îi admira eleganţa modelului, dar îi cunoştea şi dificultăţile. Ştia în special că, dacă se adoptau ideile clasice asupra emisiei radiaţiilor, atomul conceput de Rutherford nu putea emite un spectru de linii cu frecvenţe determinate şi ar fi fost chiar instabil, deoarece electronii periferici s-ar fi prăbuşit rapid pe nucleu. Bohr a observat că pentru a obţine pe baza acestui model de atom rezultate acceptabile şi conforme cu faptele, trebuia să-i aplice ideile introduse de teoria cuantelor. Inspirîndu-se direct din concepţiile lui Planck şi Einstein, el a admis următoarele două postulate:

1) Dintre toate mişcările pe care mecanica clasică le recunoaştea ca posibile pentru electronii intraatomici din modelul atomic al lui Rutherford, sînt stabile şi se realizează în natură doar anumite mişcări, cele care se supun unor condiţii de cuantificare în care intervine constanta lui Planck, astfel că atomul nu se poate găsi decît într-un anumit număr de stări „staţionare“ cuantificate.

2) Atomul este capabil să treacă, printr-o „tranziţie“ bruscă, de la o stare cuantificată de energie E_i la o altă stare cuantificată de energie $E_k < E_i$ (sau invers), această tranziţie fiind însoţită de emisia (sau de absorbţia) unei „cuante de lumină“ (foton) egale cu $h\nu$, astfel încît conservarea energiei impune satisfacerea relaţiei $h\nu = E_i - E_k$, cunoscută sub numele de „legea frecvenţelor a lui Bohr“.

Pe baza acestor două postulate fundamentale, Niels Bohr a construit o teorie cuantică a atomului de un tip cu totul nou, care permitea explicarea unui foarte mare număr de fapte neînţelese pînă atunci şi care a exercitat o influenţă capitală asupra întregii orientări a fizicii contemporane.

Nu este aici locul să trecem în revistă succesele acestei faimoase teorii a lui Bohr. Ne vom mărgini să subliniem că, pe de o parte ea a permis înţelegerea legilor care dau frecvenţa liniilor spectrale emise de atomi, legi deduse din experienţă şi a căror interpretare fusese pînă atunci imposibilă, iar pe de altă parte a scos în evidenţă adevărata natură, esenţial cuantică, a fenomenelor de excitare şi de ionizare a atomilor şi moleculelor prin ciocnire. Trebuie amintit, de asemenea, că Bohr a putut să explice într-un mod remarcabil diferenţa foarte mică dintre valorile ce se atribuiau constantei lui Rydberg în cazul spectrului hidrogenului şi cel al heliului.

În 1913, Bohr şi-a prezentat teoria sub formă simplificată, care conţinea imensa sa valoare conceptională, dar care avea o mai mică precizie şi putere explicativă. În anii care au urmat, alte lucrări, în special cele ale lui Sommerfeld din 1916, au lărgit şi precizat forma iniţială a raţionamentelor lui Bohr. Aplicînd părţii dinamice a problemei corecţiile relativiste, lărgind enunţul condiţiilor de cuantificare, Sommerfeld şi cei care i-au continuat lucrările au stabilit o teorie a liniilor spectrale mai amănunţită decît cea a lui Bohr; teoria lui Sommerfeld a explicat în special o parte din structurile fine şi a dezvoltat cu succes teoriile efectului Zeeman şi ale efectului Stark (despicarea liniilor spectrale în cîmp magnetic şi, respectiv, în cîmp electric).

Pe baza concepţiilor lui Planck, s-a constituit progresiv ceea ce a căpătat numele de „vechea teorie a cuantelor", adică o doctrină hibridă, care, păstrînd pentru mişcarea unităţilor corpusculare legile vechilor dinamici punctuale, restrîngea numărul de mişcări fizic realizabile, impunîndu-le satisfacerea anumitor condiţii de cuantificare în care figurează constanta h. În mod vizibil această teorie suferea de contradicţii interne şi s-a observat curînd că, în ciuda succeselor sale şi a marei sale capacităţi explicative, ea nu conducea totdeauna la previziuni corecte. Totuşi, cu ajutorul unei intuiţii profunde, N. Bohr a ştiut să-i mărească considerabil semnificaţia enunţînd „principiul de corespondenţă", asupra căruia va trebui să ne oprim un moment.

Teoria electromagnetică clasică a lui Maxwell-Lorentz a furnizat o imagine a procesului emisiei radiaţiei de către materie, care trebuia să permită calculul exact al frecvenţei, amplitudinii şi al polarizării radiaţiei emise. Din nefericire, natura discontinuă a proceselor reale de emisie şi de absorbţie, evidenţiată de lucrările lui Planck, şi structura discontinuă a radiaţiei, rezultată din introducerea noţiunii de foton, zdruncinaseră încrederea în teoria lui Maxwell-Lorentz, care nu mai putea descrie complet realitatea fizică. Dimpotrivă, vechea teorie a cuantelor se adapta la reprezentarea acestor discontinuităţi, iar prin intermediul tranziţiilor Bohr şi al legii sale pentru frecvenţe, ea conducea la previziuni adesea excelente în privinţa frecvenţelor liniilor spectrale. Deoarece ea abandona însă punctul de vedere ondulatoriu al teoriei clasice, nu mai reuşea să prevadă şi nici să definească clar intensitatea şi polarizarea unei radiaţii, dovedindu-se neputincioasă în interpretarea fenomenelor de dispersie şi de împrăştiere, în care noţiunea ondulatorie de diferenţă de fază intervine într-un mod esenţial. Pentru a elimina acest defect, Bohr a enunţat în 1916 principiul său de corespondenţă. Ideea care l-a călăuzit poate fi enunţată astfel: deoarece teoria lui Maxwell-Lorentz furnizează o interpretare corectă a fenomenelor electromagnetice la scara noastră, este necesar să se presupună că ea constituie o reprezentare statistică exactă a ansamblurilor de procese elementare în care intervine un număr foarte mare de cuante. Admiţînd acest postulat verosimil şi extrapolîndu-l cu o anumită îndrăzneală în domeniul numerelor mici de cuante, Bohr a obţinut, prin formule care nu erau prea precise, dar erau suficient de exacte pentru a fi utilizabile, o metodă de a prevedea aproximativ intensitatea şi polarizarea liniilor spectrale. Folosită cu succes în special în teoriile efectului Stark şi efectului Zeeman, oricît ar fi fost de imperfectă, această metodă oferea deja un preţios fir conducător pentru elaborarea unor teorii cuantice şi pentru studiul trecerii de la fenomenele discontinue ale microfizicii, la fenomenele cu aparenţă de continuitate de la scara macroscopică; fecunditatea sa este încă departe de a fi epuizată chiar şi azi.

Este important să se sublinieze încă de acum că teoria lui Bohr şi dezvoltările ei au introdus în fizica teoretică imagini noi a căror interpretare părea dificilă. Atomul şi, mai general, sistemele microfizice cuantificate păreau să se găsească aproape constant în stări staţionare care nu mai evoluau în cursul timpului, deoarece tranziţia de la o stare staţionară la alta putea avea loc brusc, printr-o tranziţie cuantică pentru care nu era dată nici o descriere. Deoarece stările staţionare nu evoluau, nimic nu putea să explice de ce tranziţia cuantică se producea la un anumit moment şi nu la un altul. În concordanţă cu o importantă lucrare a lui Einstein, care a arătat în 1917 legătura existentă între legea frecvenţelor a lui Bohr şi formula lui Planck pentru radiaţia corpului negru, s-a ajuns la necesitatea definirii probabilităţilor de tranziţie în unitatea de timp. În această situaţie, erau posibile două atitudini. Conform ideilor clasice din fizică, se putea considera că absenţa evoluţiei stărilor staţionare şi caracterul brusc şi indescriptibil al tranziţiilor cuantice nu constituiau decît o aparenţă, că tranziţiile cuantice erau procese foarte rapide a căror evoluţie putea fi într-o zi descrisă şi că stările staţionare, mai puţin stabile decît păreau, sufereau perturbaţii ascunse, capabile să le facă să treacă prin faze de instabilitate şi să declanşeze astfel tranziţii. Privind astfel lucrurile, intervenţia probabilităţilor de tranziţie rămînea conformă concepţiei tradiţionale după care probabilitatea reprezintă expresia ignoranţei noastre faţă de o cauzalitate ascunsă. Se mai putea adopta şi o atitudine cu totul opusă, admiţînd că stările staţionare nu evoluează în nici un mod şi sînt într-o oarecare măsură în afara timpului, în timp ce tranziţiile cuantice sînt procese instantanee care scapă complet oricărei descrieri în spaţiu şi timp; probabilităţile de tranziţie devin atunci expresia unui hazard pur, de natură absolută, care nu mai rezultă din ignoranţa noastră asupra unei cauzalităţi ascunse. Bohr a înclinat de la început spre această părere în favoarea căreia a acţionat din ce în ce mai mult cu toată autoritatea numelui său. Pentru el, stările staţionare şi tranziţiile cuantice sînt procese de un tip complet ignorat de fizica clasică, ele „depăşesc“ cadrul spaţiului şi timpului şi scapă oricărei interpretări raţionale. Desigur, se poate spune că acest mod de a vedea a fost sugerat în mod natural de noţiunile de bază ale teoriei cuantelor şi că el deschide orizonturi noi, demne de a interesa în mare măsură pe filozofi şi pe epistemologi. Dar este sigur că acest mod riscă să conducă spre căi hazardate. Mutînd linia de demarcaţie dintre fizică şi metafizică, în acest mod de a vedea a deplasat-o într-un domeniu care pare a mai aparţine încă fizicii; el reprezintă un fel de renunţare la scopul pe care cercetarea ştiinţifică şi l-a propus totdeauna, cu un succes constant, anume de a obţine explicaţii şi de a înţelege; el comportă pericolul foarte grav de a se reveni la tipul de explicaţii pur verbale care au împiedicat mult timp progresul cunoştinţelor umane. Vom reveni mai tîrziu asupra acestor probleme.

MECANICA ONDULATORIE ŞI PRELUNGIRILE SALE (1923—1939). Pe la 1923, vechea teorie a cuantelor părea că a atins limitele posibilităţilor sale explicative. Teorie hibridă, care mai folosea noţiunile şi legile vechii mecanici punctuale, dar căreia i se impuseseră restricţii „cuantice“, a obţinut totuşi succese foarte mari şi a proiectat un fascicul de lumină pe un domeniu al fizicii atomice pînă atunci atît de obscur. Începuse însă să se observe că în multe cazuri previziunile teoriei nu concordau cu faptele experimentale. Se simţea că este necesar ca, păstrînd din ea tot ceea ce arătase exact, să i se aplice o reformă profundă.

Prima încercare făcută în acest sens, apărută în *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* în toamna lui 1923 şi dezvoltată într-o teză de doctorat susţinută în noiembrie 1924, se datoreşte autorului acestor rînduri. Încercarea reprezintă baza a ceea ce se numeşte astăzi „mecanica ondulatorie“. Scopul esenţial urmărit de această încercare era acela de a obţine o teorie sintetică a undelor şi corpusculilor: corpusculul apare ca un fel de „accident“ încorporat în structura unei unde, ghidat de propagarea undei. Situaţia existentă în 1923 părea să ceară un efort de acest gen. Necesitatea lui fusese clar observată cu mult timp înainte de către Einstein, dar numai în cazul particular al luminii şi al fotonilor. În acest caz particular, verificările succesive ale teoriei cuantelor de lumină şi descoperirea, recentă în acea vreme, a efectului Compton păreau să dovedească justeţea profundelor intuiţii ale lui Einstein. Dar în cazul altor particule decît fotonii, ca de exemplu în cazul corpusculilor materiali şi al electronilor, se putea oare imagina o dualitate asemănătoare undă-corpuscul, cu toate consecinţele ei? Se putea oare asocia imaginii corpusculare admise obişnuit pentru un electron, imaginea unei unde care l-ar însoţi în mişcarea sa? Aceasta reprezenta o ipoteză foarte îndrăzneaţă, căci nimic în acel moment nu părea să-i sugereze exactitatea.

Anumite indicii puteau totuşi să conducă pe această cale: teoria lui Hamilton-Jacobi, dezvoltată de mai bine de un secol în cadrul mecanicii analitice clasice, părea să indice o legătură secretă între mişcarea punctelor materiale şi propagarea unei unde; intervenţia numerelor întregi în formulele de cuantificare din vechea teorie a cuantelor sugera că anumite fenomene de interferenţă sau de rezonanţă trebuie să intervină în stabilitatea mişcării electronilor intraatomici etc. Inspirîndu-mă din aceste remarci, am putut să pun primele baze ale mecanicii ondulatorii şi să obţin, cu ajutorul unor raţionamente relativiste, relaţiile ce leagă energia şi cantitatea de mişcare a unui corpuscul de frecvenţa şi lungimea de undă a undei pe care ideile mecanicii ondulatorii o asociau acestui corpuscul. Aplicînd aceste formule la cazul particular al fotonului, se obţineau imediat formulele pe care Einstein le-a admis în teoria sa a cuantelor de lumină. Noua teorie permitea dealtminteri şi interpretarea semnificaţiei condiţiilor de cuantificare din vechea teorie a cuantelor.

Această încercare îndrăzneaţă ar fi trecut poate neobservată dacă, încă din ianuarie 1925, Einstein nu i-ar fi subliniat importanţa găsindu-i profunde aplicaţii în teoria gazelor. În primăvara anului 1926, într-o serie de lucrări admirabile, Erwin Schrödinger a stabilit, pe baze matematice riguroase, formalismul mecanicii ondulatorii şi a dezvoltat o metodă abstractă, dar foarte fecundă, pentru tratarea problemelor de mecanică ondulatorie a sistemelor de corpusculi. El a arătat cum trebuie determinate stările staţionare ale sistemelor atomice şi a regăsit astfel, adesea îmbunătăţindu-le, previziunile vechii teorii a cuantelor. În sfîrşit, el a putut să arate că formalismul dezvoltat în 1925 de Werner Heisenberg nu era decît o transpunere metematică a formalismului mecanicii ondulatorii, ceea ce explică coincidenţa previziunilor lor. După publicarea lucrărilor lui Schrödinger, a fost găsit un număr considerabil de aplicaţii ale mecanicii ondulatorii sub forma dată de el; aplicaţiile au avut un mare succes şi au dovedit importanţa progreselor realizate. Acum se putea spera să se realizeze o confirmare experimentală directă a existenţei undei asociate electronului: această confirmare nu s-a lăsat mult timp aşteptată, deoarece la începutul anului 1927, doi ingineri americani, C.J. Davisson şi L.H. Germer, au descoperit, fără să-l caute, fenomenul de difracţie a electronilor pe cristale, cu totul analog fenomenului de difracţie a radiaţiilor X pe cristale; s-a putut astfel verifica corectitudinea concepţiilor mecanicii ondulatorii şi a formulelor pe care aceasta se bazează. Repetate în diferite forme de un mare număr de experimentatori, extinse şi la alte particule decît electronii şi chiar la neutroni, experienţele de difracţie pe cristale, care reprezintă astăzi obiectul unor aplicaţii tehnice importante, au furnizat proba de netăgăduit că asocierea undelor şi a corpusculilor nu reprezintă numai un simplu punct de vedere. Dealtfel, şi alte probe s-au adăugat celor de mai sus: s-au obţinut difracţia electronilor pe muchia unui ecran şi interferenţa undelor electronice prin metode analoage celor cunoscute în optică sub denumirea de biprisma lui Fresnel, orificiile lui Young şi straturile subţiri.

În afara undei asociate, un alt element s-a adăugat la proprietăţile cunoscute de noi pentru electroni şi pentru alţi corpusculi: „spinul". Unele fenomene spectroscopice şi magnetice, numite anomalii deoarece nu se reuşea interpretarea lor, au dovedit că nu era suficientă caracterizarea electronului prin masa şi prin sarcina sa electronică. În 1925, G.F. Uhlenbeck şi S.A. Goudsmit au ajuns la concluzia că pentru a explica aceste fapte era necesar să se atribuie electronului un fel de rotaţie internă care se traducea prin apariţia unui moment al cantităţii de mişcare şi al unui moment magnetic, „proprii": această caracteristică nouă, căreia i s-a dat numele englezesc *spin*, s-a dovedit într-adevăr fundamentală, poate cea mai fundamentală pentru particulele elementare, ceea ce sugerează, într-un anumit sens, o apropiere de turbioanele lui Descartes. Deşi Uhlenbeck şi Goudsmit precum şi continuatorii lor au putut să dovedească rapid că introducerea spinului permitea interpretarea anomaliilor amintite mai sus, a apărut la un moment dat situaţia paradoxală că spinul, descoperit în momentul în care mecanica ondulatorie îşi lua avînt, părea a fi complet străin acestei mecanici. Doar în 1929, P.A.M. Dirac a reuşit să construiască o formă a mecanicii ondulatorii care se bucura şi de invarianţa relativistă şi conţinea şi spinul. Această teorie a electronului a lui Dirac, care a permis obţinerea unui mare număr de previziuni exacte, atît în ceea ce priveşte structurile fine ale spectrelor de linii, cît şi în anomaliile spectroscopice şi magnetice, a constituit obiectul unui număr considerabil de studii şi reprezintă una dintre cheile fizicii teoretice contemporane.

Completată de teoria lui Dirac, mecanica ondulatorie, a constituit obiectul unor numeroase şi fecunde aplicaţii, dintre care nu putem prezenta decît cîteva. Ea a permis lui G. Gamow să dea o interesantă imagine a dezintegrării radioactive pe care doar noile concepţii puteau să o furnizeze. Mecanica ondulatorie a sistemelor de particule, în forma lui Schrödinger, combinată cu „principiul de excluziune" al lui Pauli, valabil pentru o întreagă categorie de particule, printre care şi electronii, a condus la deosebirea a două tipuri de particule prezente în materie: particulele cu funcţie de undă antisimetrică, sau fermionii, supuse principiului de excluziune şi statisticii Fermi-Dirac, şi particulele cu funcţie de undă simetrică, sau bosonii, care nu se supun principiului de excluziune şi ascultă de statistica Bose-Einstein. Această împărţire a particulelor în două categorii, intim legată de valoarea spinului lor, joacă un rol esenţial în fizica contemporană.

Astfel precizată, mecanica ondulatorie a permis, de asemenea, lui W. Heisenberg să creeze o remarcabilă teorie a spectrului heliului, care să ţină seama de particularităţile, pînă atunci misterioase, ale acestui spectru şi să permită obţinerea directă în structura sa a unei dovezi a valabilităţii principiului lui Pauli. Plecînd de la teoria moleculei de hidrogen, W. Heitler şi F. London au reuşit să arate că doar mecanica ondulatorie permite înţelegerea adevăratei naturi a noţiunii de valenţă chimică şi de forţe care asigură stabilitatea structurilor moleculare. Această lucrare a constituit punctul de plecare în dezvoltarea unei ramuri noi a teoriei fizice, cunoscută astăzi sub denumirea de chimia teoretică sau chimia cuantică. Chimia teoretică, prin studierea la modul general a legăturilor chimice şi a transformărilor lor, furnizează în fiecare zi cunoştinţe noi asupra structurii şi proprietăţilor moleculelor (în special a moleculelor organice), asupra cineticii chimice etc. Fără a insista asupra aplicaţiilor ştiinţifice şi tehnice ale difracţiei electronilor la studiul structurii materialelor, voi aminti că optica electronică, a cărei rapidă dezvoltare este cunoscută, nu îşi arată întreaga semnificaţie, decît în cadrul mecanicii ondulatorii şi în special în probleme ca cea a „puterii de separare": se cunoaşte importanţa fundamentală pe care o are microscopul electronic în numeroase domenii ale ştiinţei teoretice sau aplicate, în special în metalografie şi în microbiologie.

Revenind acum la problemele de principiu, vom spune cîteva cuvinte despre sensul în care s-a orientat, după vreo 30 de ani, interpretarea mecanicii ondulatorii. Încercarea efectuată în 1925 de W. Heisenberg, care lucra atunci la Copenhaga sub direcţia lui N. Bohr, a fost puternic influenţată de concepţiile autorului teoriei cuantice a atomului, pe care le-am amintit deja; acestea se inspirau, la rîndul lor, şi din idei pozitiviste sau fenomenologice care aveau să devină curînd *credo*-ul şcolii filozofice *Wiener Kreis*, după care teoria fizică trebuie să se bazeze numai pe mărimi a căror valoare poate fi direct observată şi trebuie să evite orice reprezentare pentru care anumite elemente ar fi inaccesibile experienţei. Animată de acest „spirit de la Copenhaga", care din anumite puncte de vedere amintea pe cel al vechii şcoli energetiste, „mecanica cuantică" a lui W. Heisenberg, denumită uneori „mecanica matricială" datorită formei matematice pe care o ia, se prezenta ca un formalism pur care respingea orice imagine a lumii microfizice, dar care era capabilă să explice toate fenomenele observabile la scară atomică cu ajutorul unor simple calcule algebrice. Deşi E. Schrödinger reuşise încă din 1926 să demonstreze că formalismul mecanicii cuantice putea fi considerat ca o simplă transpunere algebrică a celui la care conducea mecanica ondulatorie, aceste două noi forme ale microfizicii rămîneau animate de tendinţe opuse, analoage celor care animaseră odinioară pe atomişti pe de o parte şi pe energetişti pe de alta: mecanica ondulatorie încerca să obţină o reprezentare a fenomenelor microfizice în cadrul spaţiului şi timpului, furnizînd o imagine clară şi inteligibilă a asociaţiei undelor cu corpusculii, în timp ce mecanica cuantică, considerînd inutile aceste preocupări, se mulţumea cu construirea unui formalism capabil să furnizeze cu exactitate previziunea fenomenelor constatabile experimental.

Acest din urmă curent de idei a condus la interpretarea probabilistă a fizicii cuantice, dezvoltată în special de N. Bohr, W. Heisenberg, M. Born, W. Pauli şi P.A.M. Dirac (dealtfel cu nuanţe diferite, în funcţie de autor, şi în special în cazul lui N. Bohr). În această interpretare, nu mai există în fizica cuantică decît legi de probabilitate, de probabilitate „pură", fără nici un mecanism cauzal intern, ignorat. Unda din mecanica ondulatorie nu mai reprezintă, în această interpretare, nici o realitate: ea nu mai este decît soluţia unei ecuaţii cu derivate parţiale de tipul clasicei ecuaţii a undelor, soluţie care reprezintă instrumentul matematic potrivit pentru reprezentarea probabilităţii rezultatului anumitor măsurători. Corpusculul ia şi el un aspect fantomatic: el nu mai are nici o localizare permanentă în spaţiu, nici o valoare dată în fiecare moment a energiei şi a cantităţii sale de mişcare; în general, el este prezent în stare potenţială într-o întreagă regiune a spaţiului şi este repartizat statistic între mai multe stări de mişcare. Experienţa poate permite sau localizarea corpusculului, sau atribuirea unei valori cantităţii sale de mişcare, dar totdeauna în treacăt şi niciodată în acelaşi moment: aceste particularităţi sînt exprimate în termeni matematici de relaţiile de incertitudine ale lui Heisenberg. Pentru a traduce aparenţele corpusculare şi ondulatorii, atît de net caracterizate în cazul luminii prin efectul fotoelectric pe de o parte, sau prin interferenţă pe de alta, iar în cazul electronilor prin traiectoriile vizibile în camerele Wilson pe de o parte, sau prin difracţia pe cristale pe de alta, N. Bohr a introdus noţiunea de „complementaritate": corpusculul şi unda ar constitui aspectele complementare ale realităţii, ale unei realităţi care ar scăpa oricărei descrieri inteligibile.

O altă interpretare a mecanicii ondulatorii, mai apropiată de intuiţiile care i-au dat naştere şi de concepţiile obişnuite ale fizicienilor, a fost schiţată în 1926—1927 de către autorul acestui capitol, dar ea s-a lovit atunci de grave dificultăţi matematice şi a fost abandonată. Poate că atunci timpul ei nu venise încă; despre asta vom vorbi mai tîrziu.

De ce oare interpretarea probabilistă, în ciuda uşoarei insatisfacţii pe care o oferă dorinţei noastre instinctive de a înţelege, a fost de vreo 30 de ani admisă de aproape majoritatea fizicienilor (cu excepţiile remarcabile reprezentate de Planck, Einstein şi Schrödinger)? Fără îndoială, deoarece ea era conformă tendinţelor pozitiviste ale unora dintre ei, dar şi pentru că ea se exprima printr-un formalism foarte coerent, care făcea apel la elegante algoritme matematice şi, mai ales, pentru că părea capabilă să răspundă la toate problemele pe care le putea ridica previziunea fenomenelor observabile, fără a face apel la nici o ipoteză mai mult sau mai puţin arbitrară. Această mecanică cuantică, fără îndoială pentru a evita orice imagine cu tendinţe realiste, nici măcar nu accepta să fie numită mecanică ondulatorie; ea a cunoscut un moment de apogeu, dar astăzi, se pare, dă semne de declin. Acest aspect îl vom examina în ultima parte a acestei expuneri.

MISTERUL PARTICULELOR MICROFIZICII. Pînă prin 1930, numărul particulelor care se manifestau la scară microscopică părea destul de limitat. Electronul, unitate de electricitate negativă, foarte uşor şi foarte mobil; protonul, unitate de electricitate pozitivă, mult mai greu şi mai puţin mobil; fotonul, grăunte de energie făcînd parte din structura tuturor radiaţiilor, el jucînd un rol destul de diferit de cele două particule precedente; acestea păreau să fie elementele esenţiale ce intervin în structura diverselor forme ale materiei şi energiei. Linia de demarcaţie între materie şi energie era într-o oarecare măsură ştearsă de principiul relativist al inerţiei energiei.

Dezvoltarea fizicii nucleare, rezultată în urma senzaţionalelor descoperiri ale lui Henri Becquerel şi Pierre şi Marie Curie asupra radioactivităţii naturale (1896—1898), prelungită de primele realizări ale transmutaţiilor artificiale (Rutherford, 1919) şi descoperirea izotopilor (J.J. Thomson, Aston) au atras din ce în ce mai mult atenţia fizicienilor asupra „inimii "atomului care este un „nucleu" încărcat pozitiv şi sediul celei mai mari părţi a masei edificiului atomic. Se ştia că acest nucleu are o structură complexă şi că este capabil să se dezintegreze fie spontan, fie sub acţiunea unor violente ciocniri exterioare, dar la început părea naturală presupunerea că nucleul ar fi format numai din protoni şi electroni, singurele particule elementare materiale cunoscute în acea epocă.

Incepînd din 1930, această situaţie s-a modificat rapid, în urma punerii în evidenţă a unor noi particule necunoscute pînă atunci. Punerea la punct în laboratoare a unei „artilerii" de bombardare corpusculară, capabilă să provoace transmutaţii nucleare prin ciocniri, studiul radiaţiilor cosmice care, venind din spaţii interstelare, pot, de asemenea, provoca astfel de transmutaţii, au permis recunoaşterea existenţei atît a neutronului, particulă electric neutră, de masă apropiată de masa protonului, cît şi a electronului pozitiv, a pozitronului, particulă instabilă, cu durată de viaţă scurtă, cu masă egală celei a electronului obişnuit sau a negatronului, dar a cărei sarcină electrică pozitivă este egală şi de semn contrar cu a negatronului. S-a descoperit faptul că o pereche electron-pozitron este capabilă să se anihileze dînd naştere unei emisii de fotoni, ceea ce constituie un adevărat fenomen de dematerializare a materiei: iar o radiaţie poate, din contră, dispărea, fiind însoţită de apariţia unei perechi pozitron-electron, ceea ce reprezintă o adevărată materializare a radiaţiei.

Dar aceasta nu este totul. Studiul radiaţiei β continue a substanţelor radioactive i-a condus pe teoreticieni, pentru salvarea principiului conservării energiei care părea a nu fi satisfăcut în acest fenomen, la imaginarea existenţei unui corpuscul neutru, extrem de uşor, pe care l-au numit „neutrin": acest corpuscul ar fi emis în acelaşi timp cu radiaţia β continuă şi, deoarece este practic nedetectabil, energia pe care o ia cu el părea că dispare. Mai mult decît atît, în 1935, fizicianul japonez Yukawa, pornind de la consideraţii teoretice îndrăzneţe n-a ezitat să anunţe existenţa probabilă a unor particule încă necunoscute atunci. Masa lor, pe care el o evalua cam de 200 de ori mai mare decît cea a electronului, ar fi fost intermediară între masa electronului şi cea a protonului, motiv pentru care le-a numit „mezoni". Curînd s-a descoperit în radiaţia cosmică o particulă nouă, cunoscută astăzi sub denumirea de mezon μ, care pare să corespundă exact cu previziunile lui Yukawa.

Toate aceste descoperiri au condus rapid la o reînnoire completă a teoriilor fizicii nucleare. Puţin după descoperirea neutronului, Heisenberg a emis ipoteza că nucleele sînt formate din protoni şi neutroni iar electronii şi pozitronii, emişi în cursul dezintegrărilor nucleare, nu preexistă în structura nucleului, ci sînt generaţi în cursul dezintegrării prin transformarea unui neutron într-un proton sau invers. Această nouă ipoteză s-a dovedit imediat foarte fecundă şi a permis interpretarea unui număr considerabil de fapte din fizica nucleară: ea poate fi considerată astăzi una dintre bazele cele mai solid edificate ale fizicii nucleului. Totuşi, natura forţelor cu rază de acţiune foarte scurtă, independente de sarcinile electrice care unesc protonii şi neutronii în nucleu, forţe care asigură stabilitatea ansamblului, rămînea misterioasă. Raţionamentele lui Yukawa, confirmate de descoperirea ulterioară a mezonilor, au sugerat o interpretare a forţelor nucleare: după cum fotonii sînt asociaţi cu cîmpul electromagnetic, mezonii ar fi asociaţi unui cîmp „mezonic" corespunzător unor forţe statistice cu acţiune foarte scurtă, care ar uni componenţii nucleului. Teoria „mezonică" a forţelor nucleare a trezit mari speranţe şi a dat naştere unui însemnat număr de lucrări; în ciuda unor succese, se poate totuşi, spune, la ora actuală, că teoria mezonică n-a dat tot ceea ce se aştepta de la ea. S-a revenit, după cîţiva ani, la modele de nuclee corespunzătoare unor imagini destul de grosolane (modelul picăturii, modelul păturilor nucleare etc.), care au dat rezultate destul de interesante, dar care nu pot fi în nici un caz considerate definitive.

În timp ce fizica nucleului progresa foarte rapid din punct de vedere experimental, dar mai lent şi cu mai multe dificultăţi din punct de vedere teoretic, fizica teoretică cuantică lua o formă din ce în ce mai abstractă, din ce în ce mai depărtată de intuiţiile iniţiale ale mecanicii ondulatorii. Aşa a apărut ceea ce se numeşte astăzi „teoria cuantică a cîmpurilor", considerată de mulţi teoreticieni drept forma cea mai perfectă a fizicii cuantice actuale. Păstrînd şi prelungind interpretarea probabilistă şi pozitivistă a mecanicii cuantice, precum şi noţiunea de complementaritate, această teorie se prezintă ca un formalism elegant, cu o aparenţă riguroasă, care permite reprezentarea fără nici o imagine concretă a proprietăţilor particulelor şi cîmpurilor şi a interacţiilor lor reciproce. Nefurnizîndu-ne nici o indicaţie asupra a ceea ce poate fi un corpuscul, nici asupra structurii sale, ea se mărgineşte să ia în considerare numerele de corpusculi de fiecare tip şi variaţia lor, sau mai exact probabilităţile variaţiilor lor. Teoria cuantică a cîmpurilor a condus, după cum vom vedea, la previziuni exacte; ea prezintă o mare coerenţă şi chiar cei care consideră că ea nu ne furnizează un tablou într-adevăr complet al realităţilor microfizice, trebuie să recunoască faptul că ea înfăţişează cu exactitate anumite aspecte ale realităţii. Ea a obţinut un succes însemnat mai ales acum vreo 15 ani (1946—1948). În acea vreme, W.E. Lamb şi R.C. Retherford au pus în evidenţă, prin procedee radioelectrice, unele structuri fine în spectrul hidrogenului, care nu coincideau exact cu previziunile teoriilor anterioare, cele mai perfecţionate. O interpretare propusă de H. Bethe şi dezvoltată de către cei mai însemnaţi reprezentanţi ai teoriei cîmpurilor (Tomonaga, Schwinger, Feynman...) a permis regăsirea cu exactitate a rezultatului experimental şi a unor metode analoage care au confirmat acest frumos succes. S-au putut explica, totodată, semnificaţia valorii anormale a momentului magnetic al electronului şi proprietăţile pozitronului. Se poate remarca dealtminteri că succesul raţionamentelor teoriei cuantice a cîmpurilor pentru interpretarea acestor fenomene putea să sugereze faptul că sub nivelul realităţii microfizice în care se manifestă corpusculii, există un nivel al realităţii mai profund şi mai ascuns încă, nivel cu care corpusculii de la nivelul microfizic ar fi constant în interacţie, putînd la anumite momente să intre sau să iasă din el. Astfel, această realitate profundă, pe care D. Bohm a numit-o mai tîrziu „nivelul subcuantic", ar umple ceea ce numim vid, care ar poseda deci proprietăţi fizice, fapt sugerat de însăşi existenţa unor fenomene pe care teoria cuantică a cîmpurilor le numeşte „polarizarea vidului".

Succesele obţinute acum 10 ani de teoria cuantică a cîmpurilor au atras atenţia tinerilor teoreticieni, dar, trebuie s-o spunem, aceste succese nu au avut o viaţă prea lungă şi teoria cîmpurilor a cunoscut şi anumite decepţii. În particular, ea a condus mereu la valori infinite, evident inacceptabile, pentru energia proprie a particulelor. Pentru a evita această dificultate esenţială, s-au folosit diferite artificii (mai ales „metode de tăiere" — cut-off — care evită divergenţa anumitor integrale), dar aceste procedee sînt arbitrare şi rezultatele finale nu sînt satisfăcătoare. Dificultatea întîlnită în acest caz de fizica cuantică contemporană pare a fi de o natură cu totul fundamentală: admiţînd punctul de vedere al interpretării probabiliste, teoria cuantică a cîmpurilor îşi interzice *apriori* să ia în considerare localizarea particulelor şi să le atribuie o structură extinsă, prin intermediul definirii unor noţiuni analoage celei de „rază a electronului", ca în teoria clasică a lui Lorentz. Personal, consider că într-un fel oarecare va fi necesar să se restabilească ideea de localizare şi de structură extinsă a particulelor.

Ceea ce pare să urgenteze şi mai mult edificarea unei teorii a structurii particulelor şi a proprietăţilor lor, o constituie uimitoarea înmulţire a numeroaselor tipuri de particule nou descoperite în ultimul deceniu. După mezonul μ, a fost descoperit mezonul π, de masă puţin mai mare, şi apoi mezonii K, şi mai grei. S-au mai descoperit şi particule cu mase superioare celei a protonului, denumite din această cauză hiperoni. Aceste particule se transformă unele într-altele, adesea în mai multe moduri diferite. În acest domeniu situaţia este deci infinit mai complicată decît ne-am fi imaginat acum 30 de ani. La ora actuală, nu există nici o teorie care să permită explicarea faptului că particulele cunoscute sînt atît de numeroase şi că au mase cu valori discrete perfect determinate, nici o teorie care să ofere o imagine a multiplelor transformări de care sînt capabile particulele.

Date fiind toate aceste dificultăţi de interpretare, ni se pare că, împotriva părerilor anumitor persoane neinformate, fizica teoretică trece în aceste momente printr-o perioadă de lîncezeală. Chiar şi cei mai înflăcăraţi partizani ai orientării sale actuale o recunosc, iar unul dintre ei, R. Oppenheimer, scria recent: „Este evident că ne găsim în preajma unei revoluţii foarte grave, probabil foarte eroică şi în orice caz cu totul neprevizibilă a interpretărilor noastre şi a teoriilor noastre în fizică."

O astfel de situaţie face legitimă întrebarea dacă nu cumva interpretarea formală şi pur statistică, impusă acum 30 de ani mecanicii ondulatorii, care a înlăturat toate imaginile concrete şi inteligibile, ar fi la originea decepţiilor noastre. În acest scop, şi în legătură cu lucrările lui D. Bohm şi J.P. Vigier, am încercat după 1952 să reiau ideile mele din 1926—27, care tind să prezinte corpusculul într-un mod concret, ca un „accident" localizat, înglobat în structura unei unde extinse, cu caracter fizic, şi să obţin astfel o reprezentare clară şi inteligibilă a asociaţiei undelor cu corpusculii, oarecum analoagă cu imaginile pe care le utiliza vechea fizică. În lucrări de un mare interes, care sînt încă în curs de efectuare, D. Bohm şi J.P. Vigier au încercat să completeze această imagine admiţînd că vidul este sediul unui mediu ascuns, cu structură turbionară şi violent haotic: particulele şi undele care ar fi încorporate în el, ar putea fi considerate ca nişte suprastructuri ce apar, la nivel microfizic, la suprafaţa acestui substrat profund. Aceste încercări sînt deosebit de promiţătoare şi merită să fie continuate.

Transformările viitoare ale fizicii cuantice sînt, după cum spunea R. Oppenheimer, imprevizibile, dar se pare că aceasta se îndreaptă spre o nouă perioadă de criză şi de instabilitate. Există şi semne prevestitoare care anunţă că ea se găseşte, fără îndoială, în ajunul uneia dintre acele „cotituri bruşte", care marchează etapele de evoluţie în istoria, atît a ideilor, cît şi a speciilor.

CAPITOLUL II
Relativitatea

A. RELATIVITATEA RESTRÎNSĂ

1. Relativitatea înainte de 1905

SISTEME DE REFERINȚĂ PRIVILEGIATE ȘI TRANSFORMAREA GALILEI ÎN CINEMATICA CLASICĂ. Pînă în 1905, mecanica s-a inspirat din principiile newtoniene, prin postularea existenței unui spațiu absolut, „independent de corpurile care se găsesc în el“, și a unui timp universal, care „se scurge uniform“.

Noțiunea de timp universal, identic pentru fiecare observator, independent de mișcarea sa, este ușor de înțeles.

Ea se bazează pe ideea intuitivă că mișcarea unui sistem de referință nu influențează asupra desfășurării evenimentelor ce au loc în acest sistem. Dacă (t, x^p) și (t', x'^p) $(p = 1, 2, 3)$ reprezintă durata și poziția aceluiași eveniment în două sisteme de referință distincte S și S', noțiunea de timp universal se traduce prin $x'^p = f'^p(x^q, t)$, $t' = t$.

Noțiunea de spațiu absolut este mult mai confuză, nu numai din punctul de vedere al „sensului comun“, ci chiar și după Newton. Se știe sigur că cinematica clasică permite o totală relativitate a mișcării.

Într-adevăr, în absența forțelor, mișcarea unui corp solid poate fi raportată la sistemul de referință reprezentat de un alt corp solid, iar această operație este, în principiu, cu totul reversibilă: ecuațiile rămîn aceleași, oricare ar fi corpul ales drept referință. „Se poate spune că un același lucru este mișcat sau nu după cum se consideră poziția sa diferită“, afirma Descartes.

Această relativitate totală pare să respingă la prima vedere noțiunea de spațiu absolut într-o cinematică pură. Într-adevăr, dacă ne mărginim doar la principiile cinematicii, un astfel de spațiu nu poate fi definit prin nici un sistem de referință privilegiat, iar rolul său nu poate da loc la nici o împrejurare experimentală.

Totuși, chiar înainte de apariția dinamicii newtoniene și de introducerea explicită a forțelor, noțiunea de cinematică „pură“ era limitată de principiul inerției. După acest principiu, este totdeauna posibil să se aleagă anumite sisteme de referință privilegiate: sistemele de inerție în care un punct material „liber“ descrie o dreaptă cu o mișcare uniformă.

Deoarece fizica nu putea introduce decît sisteme de inerție aproximative, s-a ajuns la noțiunea de sistem de inerție ideal, în raport cu care „toate mișcările libere sînt rectilinii și uniforme“. Acest caz limită poate atunci să definească „spațiul absolut“, care apare astfel, conform definiției lui Euler, ca o garanție a valabilității principiului de inerție. Chiar înaintea lui Newton s-a întrevăzut, într-un mod confuz încă, noţiunea de sistem de referinţă ideal, capabil să permită verificarea completă a principiului inerţiei.

Dacă există un astfel de sistem, se poate defini o infinitate de alte sisteme care să se bucure de aceeaşi proprietate; ele vor avea, în raport cu primul, o mişcare de translaţie uniformă şi orice punct material liber, animat de o mişcare rectilinie şi uniformă în raport cu unul dintre aceste sisteme, va avea o mişcare de acelaşi tip în raport cu celelalte.

Pornind de la un sistem de inerţie $S(x, y, z, t)$ se poate deduce o infinitate de sisteme analoage $S'(x', y', z', t')$, care exprimă mişcarea lor rectilinie şi uniformă în raport cu S:

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t \tag{1}$$

şi în care direcţia $\vec{v}$ a mişcării uniforme este aleasă axă Ox.

Această transformare, numită transformarea Galilei, defineşte în mecanica clasică o clasă de sisteme de referinţă privilegiate, în care este valabil principiul inerţiei. Ea introduce un principiu de *relativitate restrînsă: relativitate*, deoarece o infinitate de sisteme legate prin (1) sînt echivalente pentru descrierea legilor mişcării; *restrînsă*, deoarece această echivalenţă este limitată doar la sistemele galileiene. În particular, prin această schimbare de coordonare, se va putea totdeauna alege un sistem de referinţă S, în care un corp animat de o mişcare rectilinie şi uniformă în raport cu un alt sistem de referinţă S' va fi în repaus. Există astfel şi o relativitate a vitezei.

PRINCIPIUL RELATIVITĂŢII ÎN DINAMICA CLASICĂ. Principiul de inerţie permite să se definească, în mecanica clasică, o restricţie a relativităţii mişcării. Totuşi, o definiţie a principiului de inerţie şi o relativitate restrînsă îşi pot evidenţia toată importanţa lor numai integrîndu-se în dinamică.

Dinamica newtoniană, bazată pe definiţia forţei: $\vec{f} = m\, d\vec{v} / dt = m\vec{\gamma}$, leagă acceleraţiile $\vec{\gamma}$ de apariţia unor forţe, fie reale, fie fictive (cele din urmă, cum sînt şi forţele de inerţie, traduc mişcarea sistemului de referinţă).

Această lege fundamentală este „invariantă“ (păstrează aceeaşi formă) în transformarea Galilei (1): nici o experienţă de mecanică nu va putea să pună în evidenţă mişcarea rectilinie şi uniformă a unui sistem de referinţă dacă această mişcare este definită prin (1). Într-adevăr, se va obţine o lege ($\mathcal{L}$) care este aceeaşi în toate aceste sisteme şi care, deci, nu poate servi la deosebirea lor. Aceste sisteme sînt echivalente: trecerea de la unul la altul nu se va putea manifesta niciodată prin apariţia sau dispariţia unei forţe. Principiul de inerţie este un caz particular al acestei echivalenţe: dacă nu există nici o forţă într-unul dintre aceste sisteme de referinţă, aceeaşi situaţie va fi valabilă în toate sistemele de referinţă privilegiate, legate de primul prin (1).

Astfel, relativitatea vitezei, care se exprima prin valabilitatea principiului de inerţie în transformările (1), se traduce, mai general, prin invarianţa lui ($\mathcal{L}$) în aceleaşi transformări. Ea este deci „restrînsă“ la sistemele de referinţă galileiene.

PRINCIPIUL RELATIVITĂŢII ÎN ELECTRODINAMICA CLASICĂ. Mecanica clasică era deci, cu mult înainte de 1905, guvernată de un principiu de relativitate restrînsă. Dar se părea că o relativitate, chiar restrînsă, nu se putea extinde asupra celorlalte domenii ale fizicii, dar, mai ales, asupra electromagnetismului lui Maxwell, care cunoscuse o mare dezvoltare.

Într-adevăr, părea evident faptul că o undă electromagnetică, izotropă într-un sistem propriu de referinţă, nu putea conserva această izotropie într-un nou sistem de referinţă, animat de viteza v în raport cu primul.

După legile clasice ale compunerii vitezelor, viteza c a luminii din primul sistem devenea $c + v$ în al doilea. În aceste condiţii, o experienţă de optică ar fi permis manifestarea acestei anizotropii datorită mişcării rectilinii şi uniforme şi, în consecinţă, punerea ei în evidenţă.

În teoria maxwelliană, această posibilitate teoretică rezultă din faptul că ecuaţiile Maxwell (spre deosebire de ecuaţiile fundamentale ale dinamicii) nu sînt invariante la transformarea Galilei. O transformare a sistemului de referinţă galileian, chiar dacă nu scoate în evidenţă proprietăţi dinamice noi, este totuşi capabilă să evidenţieze proprietăţile electromagnetice datorate mişcării rectilinii şi uniforme.

Timp de aproape 100 de ani, experimentatorii au încercat în zadar să pună în evidenţă astfel de proprietăţi.

O mişcare capabilă să facă să intervină o viteză v suficient de mare este cea a revoluţiei Pămîntului în jurul Soarelui: ea introduce un termen $\beta = v/c = 30/300\,000 = 10^{-4}$, a cărui eventuală detecţie ar releva existenţa unui „vînt de eter“, care s-ar propaga în planul eclipticii şi ar dovedi existenţa unui sistem de referinţă absolut.

Totuşi, majoritatea experienţelor obişnuite (măsurarea duratei parcursului dus-întors al radiaţiilor luminoase, efectul Doppler, aberaţia) nu pot fi utilizate, deoarece ele elimină orice efect de ordinul întîi al unui eventual vînt de eter. Singurele experienţe care manifestă efecte de ordinul întîi sînt cele relative la antrenarea luminii în corpurile transparente. Au fost efectuate numeroase încercări de acest gen, de la Arago (1818) pînă la Zeeman (1914), dar rezultatele au fost totdeauna negative, în ciuda unei precizii continuu îmbunătăţite (vol. III, pp. 198—200). Acest fapt se putea justifica, menţinînd totuşi principiile cinematicii clasice (legea compunerii vitezelor), fie adoptînd, ca Fresnel, ipoteza unei antrenări parţiale a eterului, fie admiţînd o ipoteză echivalentă, dedusă din teoria „microscopică“ a lui Lorentz (vol. III, p. 198).

Aceste rezultate nu se puteau referi decît la efectele de ordinul întîi ($\beta = v/c$); doar în această aproximaţie, o ipoteză referitoare la antrenarea parţială ar fi putut anula sistematic orice efect al vîntului de eter. Efectele de ordinul doi ($\beta^2 = v^2/c^2$) trebuia să aibă însă o influenţă decisivă. Totuşi, experienţele diferite şi din ce în ce mai precise efectuate de la Michelson (1881) încoace, pentru a pune în evidenţă aceste efecte, au dat rezultate complet negative (vol. III, pp. 199—200).

INTERPRETAREA EURISTICĂ A LUI LORENTZ-POINCARÉ. Pentru a încerca să interpreteze aceste rezultate care relevau o inexplicabilă relativitate restrînsă într-un domeniu în care ea părea că nu trebuie să se manifeste, Fitzgerald şi H.A. Lorentz au postulat că toate corpurile animate de o viteză rectilinie şi uniformă trebuie să sufere o contracţie $\sqrt{1 - \beta^2}$ în sensul mişcării lor (vol. III, p. 200).

Experienţele efectuate pentru a verifica acest efect dovedindu-se încă o dată total negative, s-a admis că efectele contracţiei erau ele însele ascunse de o creştere cu mişcarea a masei de repaus m_0. În aceste condiţii, o variaţie simultană a lungimilor şi a maselor ($l = l_0\sqrt{1-\beta^2}$; $m = m_0/\sqrt{1-\beta^2}$) ar atrage, *ipso facto*, imposibilitatea detectării influenţei unei mişcări rectilinii uniforme asupra oricărui fenomen din optică. În sfîrşit, un ultim efect care condamnă, practic, eterul la inexistenţă este necesitatea definirii unei măsuri a timpului, proprii fiecărui sistem de referinţă galileian.

Astfel, după Lorentz şi Poincaré, corespondenţa

$$x' = (x - vt)/\sqrt{1-\beta^2}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \left(t - \frac{\beta x}{c}\right)/\sqrt{1-\beta^2} \tag{2}$$

este valabilă între datele temporale şi spaţiale măsurate în două sisteme, în mişcare rectilinie uniformă. Această corespondenţă reprezintă condiţiile necesare şi suficiente pentru ca o experienţă de optică, oricare ar fi ea, să nu poată manifesta mişcarea rectilinie şi uniformă a unui sistem de referinţă.

Acestor rezultate le trebuie adăugat şi cel al variaţiei masei, $m = m_0/\sqrt{1-\beta^2}$, despre care se presupunea, pe timpul lui Lorentz, că afectează doar o masă „de origine electromagnetică“, masa mecanică rămînînd invariabilă.

Cînd experienţele lui Guye şi Lavanchy (1916) au dovedit că masa totală a unui electron variază după această lege, s-a tras concluzia că această masă era în întregime de origine electromagnetică. Părea deci posibilă definirea unei „raze“ a electronului. În teoria lui Lorentz, electronul devenea o particulă înzestrată cu o structură şi capabilă să sufere deformări elastice în cursul mişcării.

ELECTROMAGNETISMUL ŞI PRINCIPIUL RELATIVITĂŢII RESTRÎNSE. Condiţiile (2), semnalate de W. Voigt (1887) şi cunoscute sub denumirea de transformarea Lorentz (după numele fizicianului care a încercat să lămurească domeniul lor de aplicare şi consecinţele lor fizice), iau locul transformării Galilei pentru a exprima legătura dintre două sisteme de referinţă aflate în mişcarea rectilinie şi uniformă. În mecanica prerelativistă, sistemele inerţiale devin astfel „sisteme lorentziene“.

H. Poincaré a arătat că ecuaţiile Maxwell rămîn invariante cînd sînt supuse unei transformări Lorentz. Deci, dacă două sisteme în mişcare rectilinie şi uniformă sînt legate printr-o transformare de acest tip, nici o experienţă de optică sau de electromagnetism nu va putea pune în evidenţă mişcarea lor relativă. Transformarea Lorentz stabileşte deci *apriori* un principiu de relativitate restrînsă în domeniul opticii.

Transformarea Lorentz este sensibil echivalentă transformării Galilei pentru viteze mult inferioare celei a luminii. Totuşi, se pare că este necesară alegerea între un principiu de relativitate restrînsă, valabil în optica maxwelliană (cu transformarea Lorentz) şi un principiu analog, valabil în mecanica newtoniană (cu transformarea Galilei).

Rezultatele negative ale experienţelor realizate în ambele domenii au condus, pentru ansamblul fizicii şi mecanicii, la menţinerea unui principiu unic al relativităţii restrînse. Din această luptă între optică şi dinamică de la începutul secolului al XX-lea, optica va ieşi victorioasă: dinamica va trebui să se reformuleze după modelul teoriei electromagnetice, pentru a deveni şi ea invariantă la o transformare Lorentz. Această concluzie nu are nimic uimitor în ea: mecanica nu reprezintă neapărat o ramură privilegiată a fizicii. Dimpotrivă, precizia experienţelor de optică va confirma cu tărie ecuaţiile lui Maxwell şi, în consecinţă, caracterul absolut negativ al experienţelor relative la existenţa vîntului de eter. Corolarul acestor două rezultate este tocmai transformarea Lorentz[1].

TRANSFORMAREA LORENTZ ŞI PRINCIPIUL RELATIVITĂŢII. În 1905, înaintea reformei datorate lui Einstein, bazele analitice ale relativităţii restrînse păreau, în mare măsură, stabilite: ele constau în transformarea Lorentz, care asigura echivalenţa tuturor sistemelor în mişcare rectilinie şi uniformă, legate prin această transformare. Totuşi, bazele înseşi ale acestei relativităţi şi ale expresiei ei analitice rămîneau necunoscute.

Ipoteza contractării avea, pentru Lorentz şi Poincaré, un caracter artificial. Ea reprezenta, după expresia lui M. Born, un fel de „distorsiune potrivită" datorită căreia se menţine echivalenţa tuturor reprezentărilor lorentziene.

Sub forma întîlnită în primele lucrări ale lui Fitzgerald, această ipoteză traduce manifestarea unor forţe reale pe care le exercită eterul asupra corpurilor în mişcare, adică o deformare absolută, independentă de sistemul de referinţă utilizat. Pe de altă parte, Lorentz a încercat chiar să lege aceste efecte de interacţiile moleculare.

Premisele lui Lorentz sînt astfel cu totul străine ideii de relativitate esenţială. Ipoteza unui eter electromagnetic în repaus absolut şi noţiunea unui timp universal rămîn pentru Lorentz foarte apropiate de concepţiile newtoniene. Coordonatele locale şi timpul local rămîn distincte, în concepţia sa, de coordonatele reale şi de timpul real.

Mult mai apropiat de concepţiile lui Einstein, H. Poincaré a întrevăzut dificultatea profundă a definirii unei simultaneităţi absolute. El a întrevăzut chiar şi dificultăţile practice, datorate imposibilităţii efective a existenţei unor semnale instantanee. Totuşi, el n-a îndrăznit să excludă posibilitatea unor astfel de semnale, adică existenţa cel puţin teoretică a unei simultaneităţi absolute la distanţă.

---

[1] Transformările Woldemar Voigt nu erau identice cu ceea ce numim astăzi transformări Lorentz. Forma lor era următoarea:

$$\zeta_1 = z_1 q, \quad \eta_1 = y_1 q, \quad \xi_1 = x_1 - kt, \quad \tau = t - kx_1/\omega^2, \quad q = (1 - k^2/\omega^2)^{1/2}$$

în care ω este echivalent cu viteza luminii, iar k este viteza de mişcare a reperului mobil (cf. Woldemar Voigt „Ueber das Doppler'sche Prinzip", Göttingen Gesellschaften der Wissenschaften-Nachrichten 41—51, 1887). Conceptul de dilatare a timpului este introdus prima dată de Sir Joseph Larmor în 1897. Tot el deduce pentru prima dată transformările de inerţie (numite de H. Poincaré „ale lui Lorentz") şi demonstrează în 1900 invarianţa ecuaţiilor lui Maxwell în raport cu aceste transformări, cu 4 ani înainte de H. Poincaré (cf. „Aether and Matter", Cambridge University Press, 1900; vezi, de asemenea, K.E. Schaffner „Nineteenth Century Aether Theories", Pergamon Press, Oxford, 1972, ca şi discuţia dintre Charles Kittel şi Ebenezer Cunningham în paginile revistei Amer. Journ. of Phys. 1974). — *N.I.-P.*

Astfel, în ciuda formalismului relativist stabilit de Voigt, Lorentz şi Poincaré, reforma lui Einstein rămîne esenţială şi indispensabilă.

Einstein însuşi scria că „teoria relativităţii restrînse era coaptă în 1905"... „Ceea ce este nou, explica el, constă în faptul că importanţa transformării Lorentz depăşeşte legătura sa cu ecuaţiile Maxwell şi face să intervină natura spaţiului şi a timpului. Ceea ce este nou, este faptul că invarianţa Lorentz reprezintă o condiţie general valabilă pentru orice teorie fizică. Această concluzie este de o mare importanţă, deoarece, aşa cum am arătat mai înainte, teoria lui Maxwell nu explica structura microscopică a radiaţiei şi nu putea deci pretinde că are o valabilitate universală".

2. Principiul relativităţii restrînse (Einstein, 1905)

ALBERT EINSTEIN ŞI FIZICA LA ÎNCEPUTURILE SECOLULUI AL XX-lea. Anul 1905 ne apare acum ca un an crucial, în care fizica a reuşit să facă saltul care a condus-o spre dezvoltările contemporane. Sinteza maxwelliană şi criticile lui Mach, Hertz şi Poincaré poartă germenii relativităţii; succesele atomismului şi ale mecanicii statistice vor impune o revenire necesară la ideea de discontinuitate a radiaţiei. Noţiunea de energie nucleară, multitudinea elementelor materiei, abdicarea de la determinismul clasic, dezvoltarea cosmologiei newtoniene, toate se regăsesc potenţial în reformele esenţiale pe care voiau să le promoveze în 1905 Albert Einstein şi, apoi, Niels Bohr.

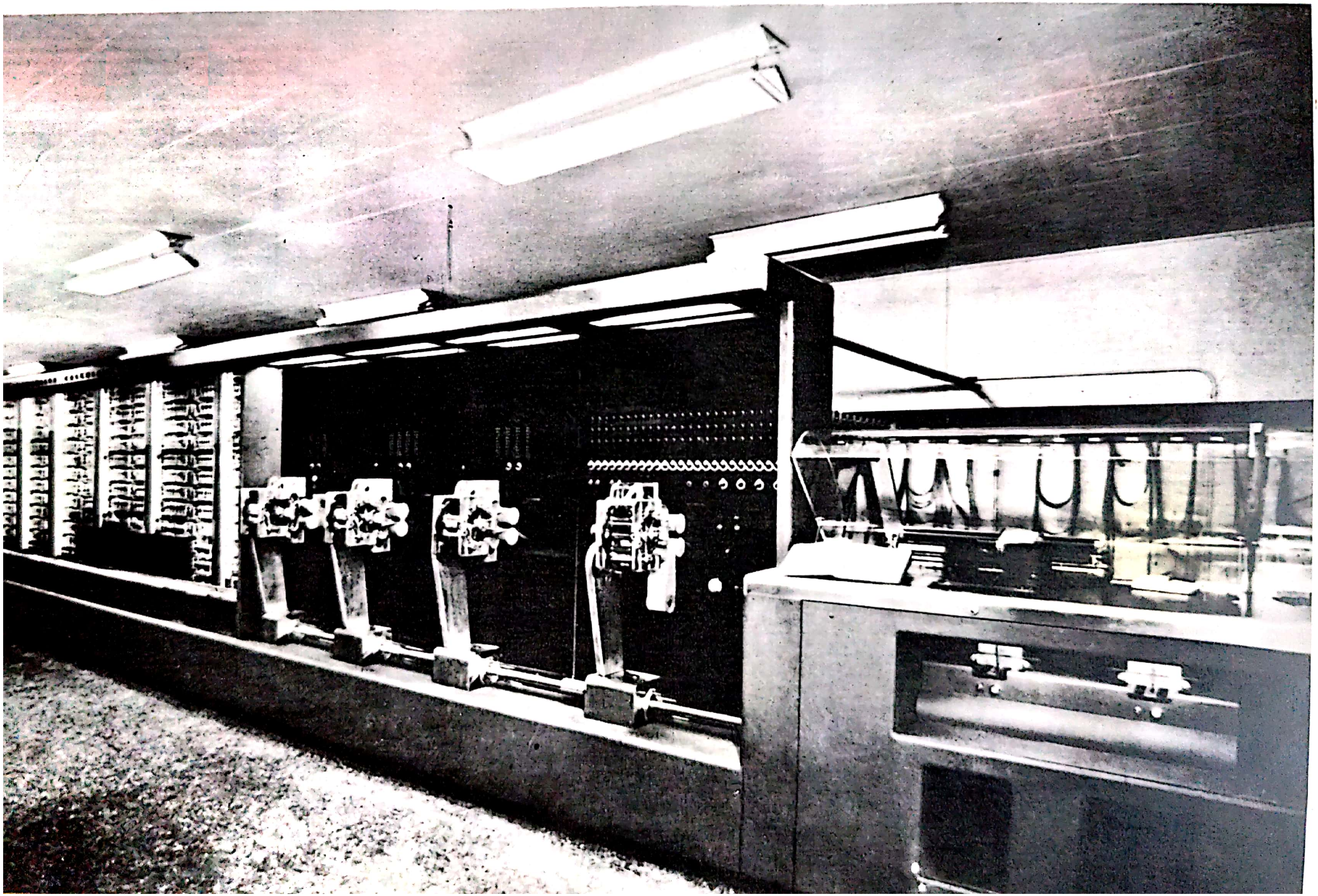
Albert Einstein s-a născut la 14 martie 1879 la Ulm. Un an mai tîrziu, familia se stabileşte la München. Hermann Einstein, tatăl lui Albert, conducea o mică uzină electrochimică. De origine evreiască, familia lui Einstein nu păstra din credinţele ancestrale decît o anumită formă de umanism asociată cu o mare toleranţă, cu un anumit ideal literar şi mai ales muzical. Albert Einstein a urmat cursurile şcolii primare catolice şi apoi gimnaziul din München. Admis la Şcoala politehnică federală din Zürich, A. Einstein a fost studentul lui H. Minkowski, care avea să stabilească, mai tîrziu, formalismul cvadridimensional adaptat la teoria fostului său student.

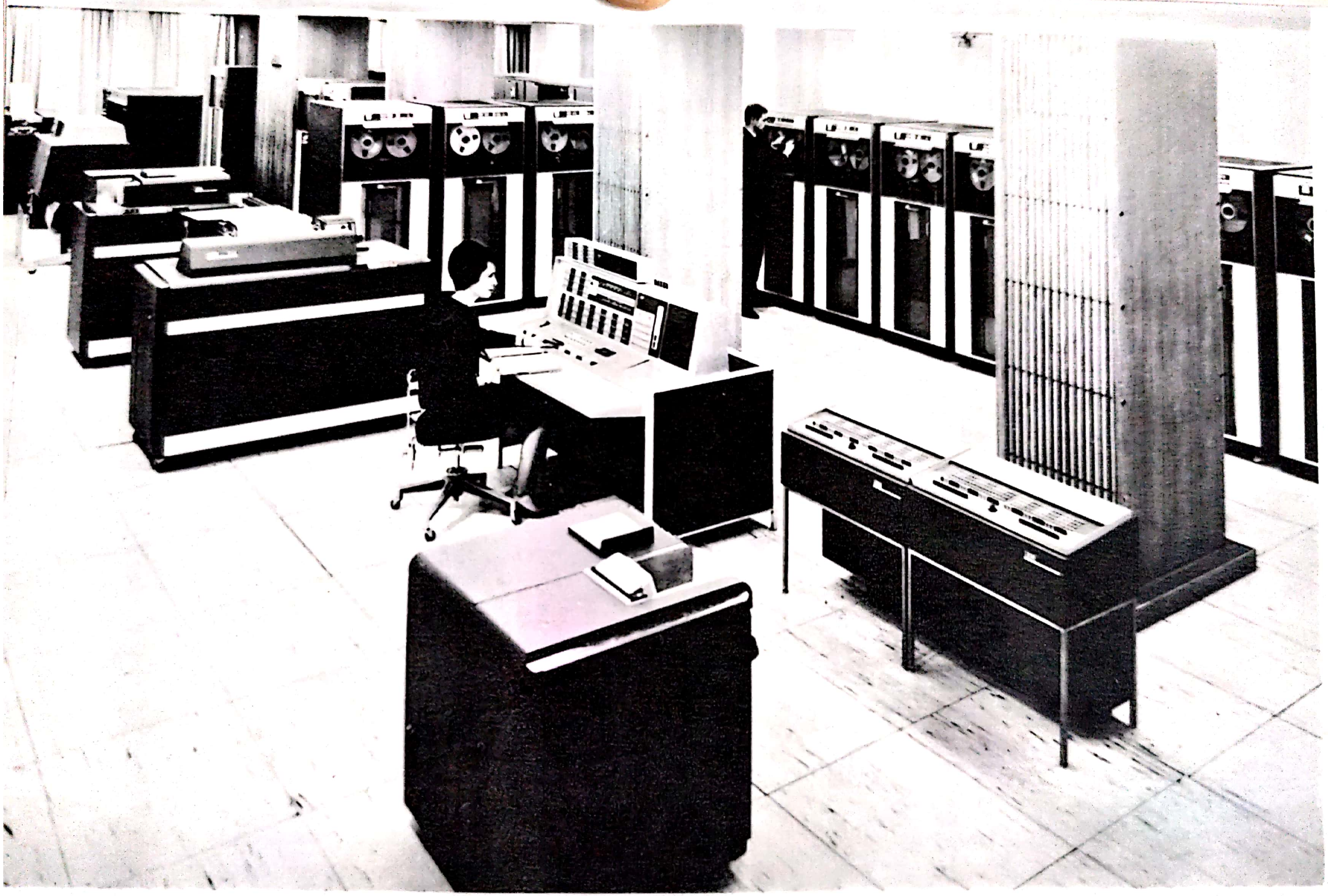
La începutul secolului, după peregrinări precare în învăţămînt, Albert Einstein a intrat la biroul de brevete de invenţii tehnice de la Berna. El a consacrat momentele sale de răgaz cercetărilor teoretice care aveau să conducă la publicarea primului său memoriu asupra relativităţii restrînse, în 1905. În acelaşi an, un al doilea memoriu va cuprinde cercetările sale asupra mişcării browniene. Observaţiile realizate asupra acestui subiect (de J. Perrin) aveau să confirme în întregime previziunile lui Einstein. Pentru acest al doilea memoriu — şi nu pentru speculaţiile prea înnoitoare ale celui dintîi — i s-a decernat, în 1921, premiul Nobel în fizică. În sfîrşit, tot în 1905, un al treilea memoriu *(Sur un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière)* venea să sprijine rezultatele lui Planck, printr-o nouă teorie a fotonilor, adică a corpusculilor de lumină de energie $h\nu$, a căror introducere avea să renoveze teoria cîmpului electromagnetic şi să motiveze viitoarea mecanică ondulatorie.

1. DAVID HILBERT (1862 – 1943)

2. ÉLIE CARTAN (1869 – 1951)

3. PRIMUL CALCULATOR ELECTRONIC (MARK I, 1942)





4. CALCULATOR ELECTRONIC (IBM 7094)

1 • 2

5. WILHELM RÖNTGEN (1), MAX PLANCK (2)
ERNEST RUTHERFORD (3), JEAN PERRIN (4)

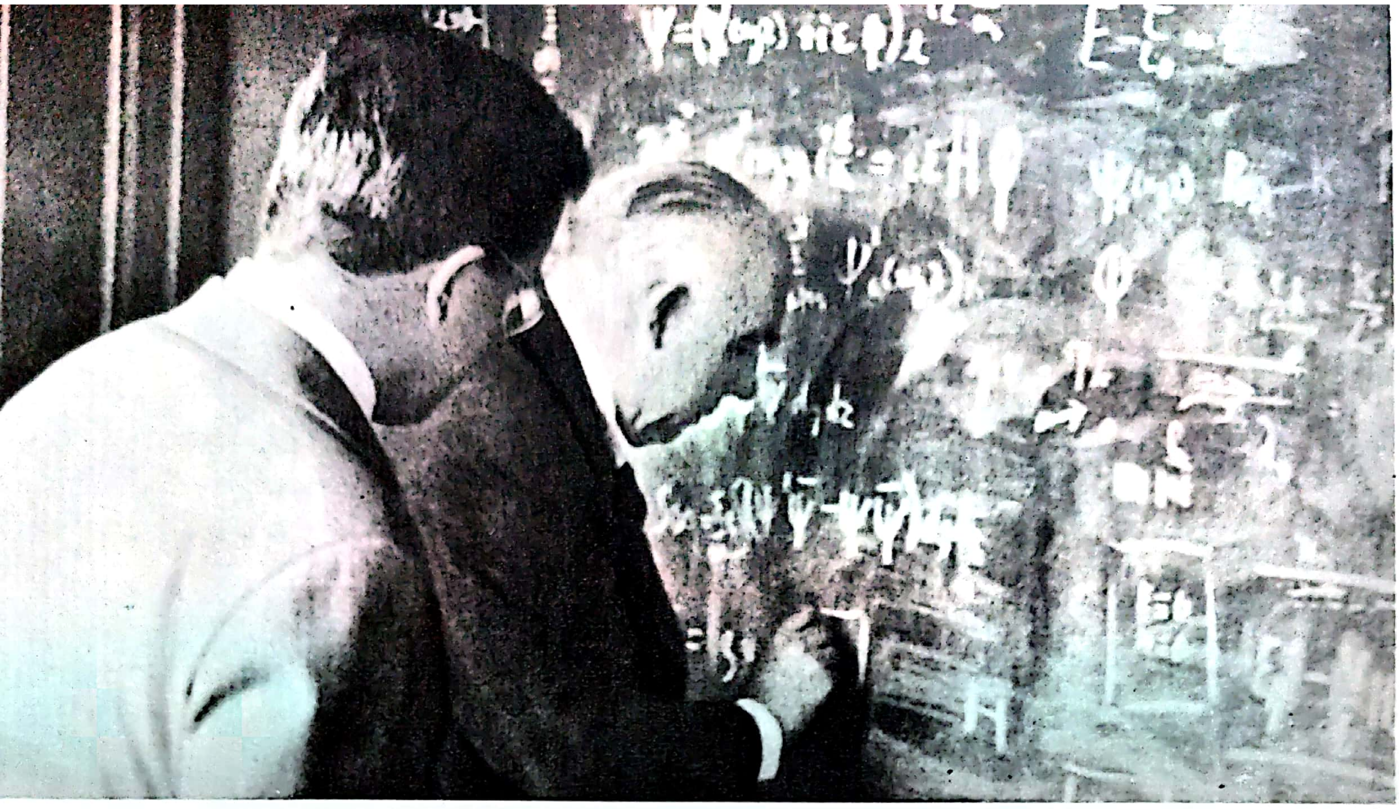
3 • 4

1

2

3

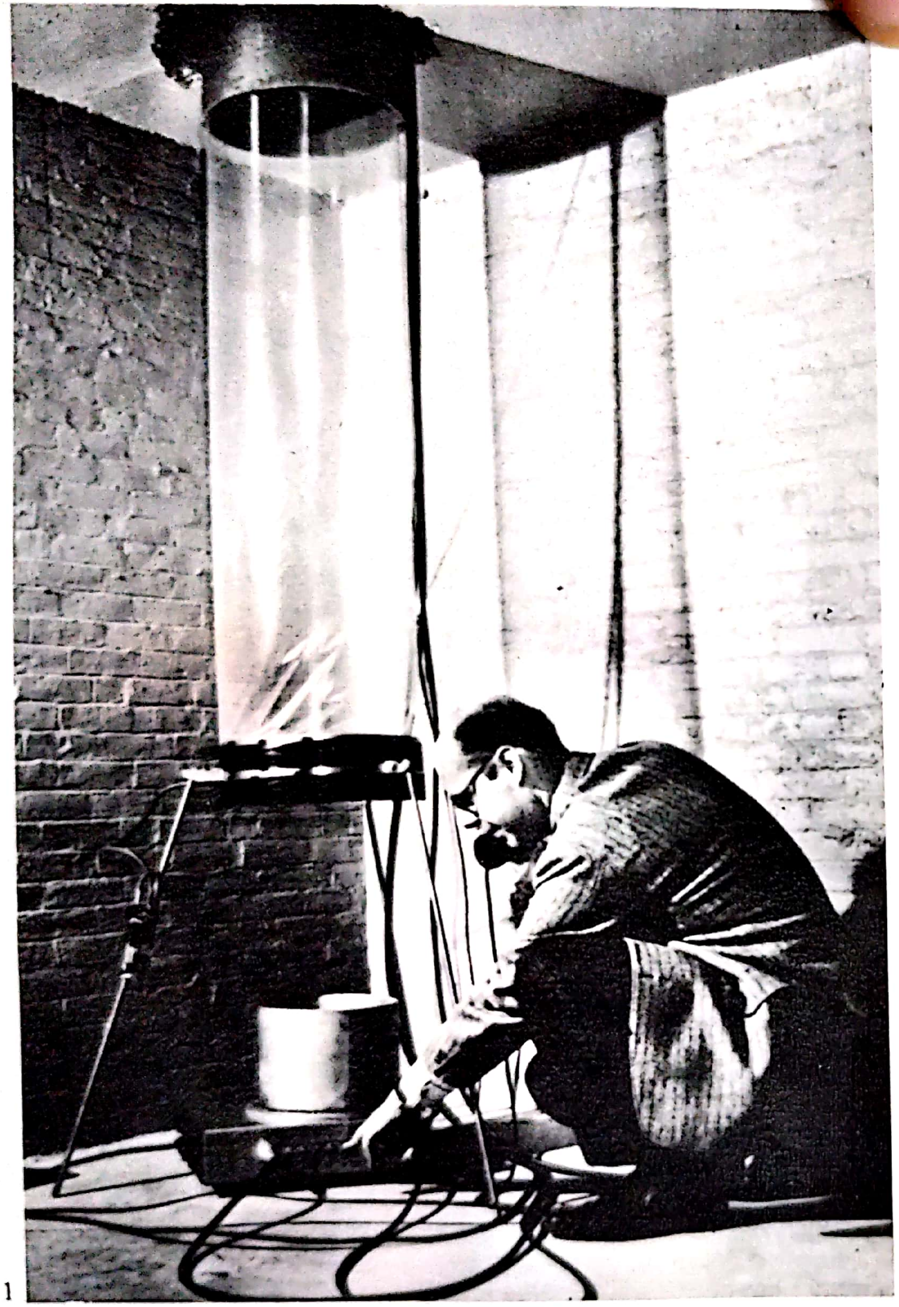
6. LOUIS DE BROGLIE (1), WERNER HEISENBERG (2) ENRICO FERMI (3)



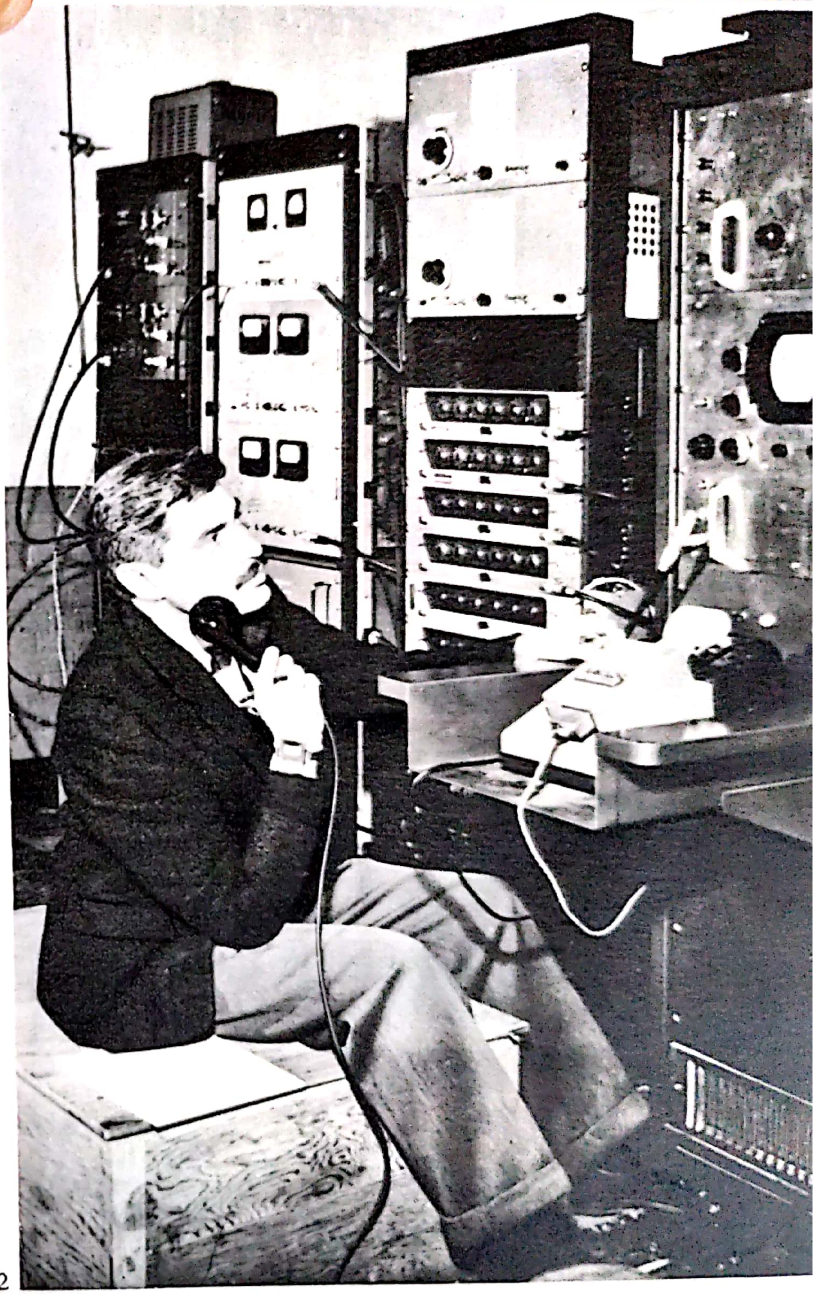
1

2

7. NIELS BOHR ŞI FIUL SĂU AAGE BOHR.
ALBERT EINSTEIN ŞI J. ROBERT OPPENHEIMER



1



2

8. VERIFICAREA EXPERIMENTALĂ A TEORIEI RELATIVITĂȚII

Numit Privat-Dozent la Berna, apoi profesor la Universitatea din Zürich (1909), el avea să ocupe în 1910 catedra de fizică teoretică de la Universitatea din Praga, revenind în 1912 la Şcoala politehnică federală din Zürich, ca titular al catedrei. La sfîrşitul anului 1913, el acceptă postul oferit de Universitatea din Berlin. În acea epocă, Max Planck şi W. Nernst predau la această universitate, iar mai tîrziu Max von Laue, J. Franck, G. Hertz, L. Meitner şi E. Schrödinger aveau să contribuie la strălucirea ei. În jurul anului 1930, colectivul berlinez de fizică era, fără îndoială, cel mai remarcabil din lumea întreagă.

Prin 1913, Einstein era încă preocupat de generalizarea teoriei relativităţii restrînse la mişcările accelerate. Pe de altă parte, el încerca să determine influenţa gravitaţiei asupra propagării luminii şi considera că cele două probleme sînt legate. Această legătură rezidă efectiv într-o structură neeuclidiană a spaţiu-timpului. Einstein se iniţiase în geometriile de acest tip, dezvoltate în special de Levi-Cività. În 1919, noua teorie părea să fie confirmată şi, odată cu programul primei aniversări a armistiţiului, ziarele britanice prezentau şi manşeta: „O revoluţie în ştiinţă; ideile lui Newton dărîmate".

Relativitatea generală a apărut specialiştilor atît ca un aport extraordinar în acest gen de teorii cît şi ca o realizare aproape miraculoasă. Fără îndoială că relativitatea restrînsă „plutea în aer" în 1905; relativitatea generală, dimpotrivă, n-a putut apărea decît prin efortul unic al unei gîndiri pe cît de îndrăzneţe pe atît de originale. Pînă la moartea sa, Einstein va încerca să dezvolte o sinteză unitară care să explice, cu ajutorul unei scheme geometrice unice, diversele cîmpuri şi caracteristicile materiei.

Teoriile lui Einstein au stîrnit foarte repede curiozitatea marelui public.

S-au făcut încercări să li se descopere consecinţe paradoxale prin interpretări adesea abuzive şi deformate: călătorul lui Langevin, care parcurge spaţiile interplanetare cu viteza luminii, menţinîndu-şi o tinereţe eternă, ideea unui timp imaginar, a unui timp prin care se poate călători, ideea unui spaţiu curb ca o sferă goală — toate fac parte dintr-un fel de vulgarizare populară inspirată nu numai de romanele lui Wells, ci şi de relativitate.

Printre fizicieni, teoriile lui Einstein s-au răspîndit foarte rapid, fiind clarificate de specialişti eminenţi ca M. von Laue în Germania, A.S. Eddington în Anglia, P. Langevin în Franţa. Nu se va insista niciodată suficient asupra rolului pe care l-a avut relativitatea restrînsă în apariţia mecanicii ondulatorii. Louis de Broglie era profund pătruns de ideile relativiste, pe care le cunoştea admirabil. Relaţia fundamentală $\lambda = h/mv$, care asociază corpusculului de masă m şi de viteză v o lungime de undă λ, se deduce imediat din cinematica relativistă aplicată undelor şi corpusculilor. Ea ar putea fi considerată ca o verificare neaşteptată a relativităţii restrînse.

Prezenţa teoriilor lui Einstein în curentul filozofic contemporan nu a fost mai puţin însemnată. Fără îndoială că Einstein a fost influenţat de Kant, de Hume, de Spinoza. Principiile mecanicistului Mach, au avut, fără îndoială, o influenţă mult mai directă. Totuşi, Einstein nu avea să lase moştenire atît „o doctrină filozofică", cît mai ales un anumit climat de credinţă în valoarea ştiinţei, în sensul ei profund inteligibil. Neînţelegerile sale cu Bohr îşi au rădăcinile cele mai adînci într-o exigenţă care rămîne profund metafizică; acea exigenţă nu are legătură cu o confesiune determinată.

Părăsind Germania în 1933, după venirea lui Hitler la putere, Einstein s-a stabilit în Statele Unite la *Institute of Advanced Study* din Princeton. A cunoscut o bătrîneţe solitară, fiind profund izolat de curentele contemporane ale fizicii care au urmat după Hiroşima — ea însăşi o altă consecinţă a relativităţii restrînse. El a rămas pătruns de această credinţă unitară şi de o toleranţă profundă care nu s-au dezminţit niciodată. La moartea sa, care a avut loc la 18 aprilie 1955, toţi cei care l-au cunoscut au resimţit această pierdere ca pe un doliu personal.

Mai mult decît un fizician şi mai mult decît un maestru, Einstein reprezenta justificarea unei anumite scări de valori, exigenţa unei totale raţionalităţi a ştiinţei, credinţa în măreţia umană la nivelul său cel mai înalt şi cel mai modest.

POSTULATUL FUNDAMENTAL AL LUI EINSTEIN. Dinamica clasică se baza pe două principii perfect separabile:

I. *Pentru descrierea legilor mişcării există o echivalenţă a tuturor sistemelor de inerţie* (în mişcare rectilinie şi uniformă faţă de unul dintre ele).
II. *Sistemele de inerţie sînt sisteme galileiene.* De aici rezultă regula clasică a compunerii vitezelor, care permite stabilirea faptului că viteza luminii este diferită în două sisteme galileiene distincte.

Meritul lui Einstein a constat în a arăta că aceste două postulate nu sînt legate între ele. Formulele lui Lorentz traduceau deja separarea lor de fapt. Criticile lui Einstein asupra noţiunii de simultaneitate reprezentau şi o separare de drept.
Einstein a lărgit primul postulat extinzîndu-l, după cum cerea experienţa, de la mecanică la electromagnetism şi la întreaga fizică (*Annalen der Physik*, vol. 17, 1905; *Jahrbuch der Radioaktivität und Electronik*, vol. 4, 1907).

I. *Există o echivalenţă a tuturor sistemelor de inerţie* (în mişcare rectilinie şi uniformă) nu numai în dinamică, ci *în toată fizica.*
Pe de altă parte el înlocuieşte al doilea postulat prin principiul următor:
II. *În vid, lumina se propagă izotrop. Viteza sa este o constantă universală, c.*

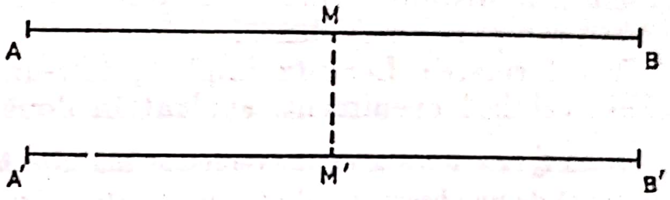
Viteza luminii este deci aceeaşi în toate sistemele de referinţă galileiene; acest rezultat implică o lege relativistă de compunere a vitezelor, diferită de legea clasică. Ea implică astfel formulele lui Lorentz (2), din care decurg principiile noii cinematici.

NOŢIUNEA DE SIMULTANEITATE LA DISTANŢĂ. Constanţa vitezei luminii, în toate sistemele lorentziene, rezultă din legea de transformare (2). Originalitatea profundă a teoriei lui Einstein constă în a lega această lege de o critică a noţiunii clasice de simultaneitate la distanţă şi în a o deduce dintr-o analiză a noţiunilor de spaţiu şi de timp.
Pînă în 1905, noţiunea de simultaneitate la distanţă părea să prezinte un sens intuitiv evident. Einstein a încercat să precizeze condiţiile unei determinări efective a unei astfel de simultaneităţi. Ea nu poate avea loc decît printr-un

schimb de semnale, îndeosebi de semnale electromagnetice, mai rapide și mai capabile să evite orice eroare.

Dacă două evenimente A și B sînt legate de un același sistem de referință, se poate defini o *simultaneitate relativă* între ele prin următoarea convenție: A și B vor fi considerate simultane, dacă un observator M, situat la mijlocul distanței AB, primește în același moment semnalele luminoase emise din A și din B.

Această convenție nu presupune nimic asupra proprietăților luminii și, în particular, asupra izocronismului parcursurilor AM și BM. O astfel de proprietate ar permite definirea unei simultaneități absolute, dar ar presupune ea însăși un procedeu prealabil de măsurare a timpului. Criteriul de simultaneitate relativă reprezintă deci o pură convenție, care rămîne valabilă în sistemul inerțial S legat de AMB, deoarece mișcarea absolută a lui S în raport cu eterul este neobservabilă.



Dar simultaneitatea relativă definită în S nu se conservă într-un alt sistem inerțial S'. Exemplul clasic, imaginat de Einstein, este cel al unei căi ferate AB pe care se deplasează un tren $A'B'$ cu o viteză v. Fie M' acel punct al trenului care coincide cu M, adică cu mijlocul lui AB. Cînd M primește simultan semnalele emise din A și B, observatorul M', care se deplasează spre B, înregistrează mai devreme semnalele emise din B decît semnalele emise din A. El va considera astfel că semnalele emise din A și din B nu sînt simultane, deoarece coincidența sosirii lor la mijlocul M' al lui $A'B'$ reprezintă și pentru el singurul criteriu de simultaneitate. Două evenimente simultane pentru M nu sînt deci simultane pentru M'.

Nu se poate obiecta în cazul acestei concluzii că experiența este privilegiată pentru M, deoarece M este în repaus, în timp ce M' nu este: nici o experiență de fizică nu poate de fapt să pună în evidență o mișcare absolută a lui M' sau a lui M. Fiecare observator poate deci afirma, cu aceeași valabilitate, că propriul său sistem este în repaus, în timp ce celălalt se mișcă.

Nu există simultaneitate absolută, adică simultaneitate verificată ca atare în sisteme inerțiale diferite.

CRITICA NOȚIUNILOR DE SPAȚIU ȘI DE TIMP. CONTRACȚIA LUNGIMILOR. DILATAREA DURATELOR. Se poate demonstra ușor că imposibilitatea definirii unei simultaneități la distanță atrage după sine contracția lungimilor și dilatarea duratelor, pe care Lorentz le introdusese empiric.

Dacă l_0' este lungimea unui etalon legat de sistemul S', măsurată în propriul său sistem, lungimea aceluiași etalon, măsurată de un observator din sistemul S este $l = l_0'\sqrt{1-\beta^2} < l_0'$. Observatorul S găsește deci că rigla din S' este mai scurtă.

Această concluzie este riguros *reciprocă*. Dacă l_0 este lungimea măsurată în S a unui etalon legat de acest sistem inerţial, un observator din S' atribuie acestei rigle o lungime $l' = l_0 \sqrt{1 - \beta^2} < l_0$ şi trage concluzia că etalonul de lungime din S este mai scurt.

Această reciprocitate a observaţiilor realizate în cele două sisteme S şi S' este fundamentală. Dacă concluziile nu ar fi reciproce, s-ar putea detecta, prin această asimetrie, mişcarea rectilinie şi uniformă „adevărată" a unuia dintre sistemele de referinţă. Această reciprocitate implică relativitatea experienţelor respective ale celor doi observatori.

Ipoteza contracţiei avea pentru Lorentz şi Poincaré un caracter artificial. În relativitatea restrînsă, contracţia lungimilor nu mai rezultă însă din forţe specifice. Ea nu constituie totuşi o „aparenţă", căci atunci ar trebui să i se opună o „realitate" privilegiată. Or, toţi observatorii galileieni sînt echivalenţi şi lungimea este deci esenţial „relativă" în sistemul de referinţă adoptat. Această relativitate rezultă imediat din imposibilitatea ireductibilă a definirii unei simultaneităţi la distanţă, adică din caracterul finit al vitezei oricărui semnal folosit pentru a o pune în evidenţă.

Transformarea Lorentz implică, într-un mod analog, modificarea duratei unui aceluiaşi eveniment, evaluat în două sisteme inerţiale diferite, S şi S'.

Dacă t_0' este durata unui eveniment măsurat în propriul său sistem S', o măsurătoare efectuată de un observator dintr-un alt sistem S va conduce la rezultatul $t = t_0' / \sqrt{1 - \beta^2} > t_0'$. Reciproc, dacă t_0 este durata unui eveniment din S, măsurată în acest sistem, un observator din S' va măsura $t' = t_0 / \sqrt{1 - \beta^2} > t_0$. Toate fenomenele se încetinesc deci pentru observatorii din sisteme diferite de cel propriu. Aceasta înseamnă că mişcarea produce o dilatare a duratelor, dar această concluzie este *reciprocă*. Un observator va considera că etalonul de timp al colegului său lorentzian este cel care întîrzie.

Suprimînd noţiunea de timp absolut, relativitatea restrînsă conferă roluri analoage coordonatelor spaţiale şi variabilei temporale. Ea instaurează un spaţiu-timp, singurul cadru potrivit descrierii fenomenelor fizice. Notaţiile lui H. Minkowski (Raum und Zeit, *Physikalische Zeitschrift*, vol. 10, 1909, p. 104) au permis precizarea formalismului valabil în acest spaţiu cvadridimensional.

CINEMATICA RELATIVISTĂ. Relativitatea restrînsă este, în esenţă, o cinematică. Un principiu general de compunere a vitezelor se poate deduce dintr-o lege generală a transformării Lorentz, lege care să dea corespondenţa între expresiile aceluiaşi eveniment al spaţiu-timpului din două sisteme de referinţă S şi S', a căror viteză w are o direcţie oarecare în raport cu axele.

Dacă este vorba de viteze paralele ($v_y' = v_z' = 0$; $v_x' = v'$), viteza rezultantă v' a unui punct P în raport cu S' se deduce din viteza relativă v a lui P în raport cu S şi din viteza de antrenare w, prin formula $v = (v' + w) \Big/ \left(1 + v' \frac{w}{c^2}\right)$, care permite să se prevadă imediat rezultatul experienţei lui Fizeau. Dacă $v' = c / n$, iar w este viteza de antrenare a unui curent de apă, avem

$$v \simeq \left(\frac{c}{n} + w\right) \left(1 - \frac{w}{nc}\right) \simeq \frac{c}{n} + w \left(1 - \frac{1}{n^2}\right).$$

Se regăseşte astfel, din considerente pur cinematice, formula de antrenare a lui Fresnel ($\alpha = 1 - 1 / n^2$). Este remarcabil că experienţa crucială a lui Fizeau (vol. III, p. 189) apare aici imediat, fără nici o ipoteză mecanicistă, din considerente pur cinematice. Această experienţă nu poate oferi deci o bază de alegere între ipoteza antrenării parţiale a eterului şi cea a eterului imobil, deoarece ea se leagă de o cinematică din care eterul este exclus.

Pe de altă parte, ea nu reprezintă — cum s-a crezut mult timp — o experienţă crucială, capabilă să deosebească teoria ondulatorie de teoria corpusculară. Stabilită aici cu ajutorul ipotezelor corpusculare, ea prezintă o expresie analoagă în cazul unei propagări de unde plane.

În realitate, un veritabil test experimental presupune o enumerare completă a tuturor postulatelor admise. Dar o astfel de enumerare este evident imposibilă. Fresnel şi Lorentz au presupus implicit că cinematica clasică era aplicabilă. Relativitatea restrînsă avea să arate că era vorba de un postulat arbitrar — care este adesea admisibil — şi, în plus, de un postulat ignorat ca atare — care este întotdeauna periculos.

Vom adăuga că legea compunerii vitezelor, aplicată la propagarea unei radiaţii de lumină nemonocromatică, într-un mediu cu indice de refracţie $n(\nu)$, variabil cu lungimea de undă, permite prevederea unei viteze rezultante modificată de un efect de dispersie $\frac{1}{\nu}\frac{dn}{d\nu}$. Această nouă previziune a relativităţii restrînse a fost verificată de Zeeman (1914—15).

„PARADOXURILE" RELATIVITĂŢII RESTRÎNSE. Sub numele de „paradoxuri" se înţeleg fie concluziile relativităţii restrînse care par să şocheze bunul simţ, fie, dimpotrivă, experienţele mintale care par a veni în contradicţie cu principiile relativităţii restrînse. Primele ar fi paradoxuri cu concluzii obişnuite, în timp ce ultimele sînt paradoxuri ale relativităţii însăşi. Nici unul dintre ele nu este în realitate fondat.

Obiecţiile aduse noţiunii de simultaneitate la distanţă au fost înţelese cu greu. S-a aplicat, de exemplu, principiul contracţiei la un solid de mari dimensiuni, deplasîndu-se cu o viteză apropiată de *c*. Contracţia lungimilor, prevăzută de formulele lui Lorentz, se aplică în principiu unui solid ideal legat în mod rigid de un sistem lorentzian. Or, strict vorbind, noţiunea de solid rigid este incompatibilă cu principiile relativităţii restrînse. Un astfel de solid ar avea de fapt un număr mic de grade de libertate şi o deformare într-unul dintre punctele sale s-ar propaga instantaneu în întreg solidul, ceea ce este în contradicţie cu ideea unei viteze finite. Principiul însuşi al experienţei este deci cu totul imaginar, în sensul relativităţii restrînse.

Şi alte paradoxuri ale relativităţii restrînse contravin, într-un mod analog, prin unele aspecte, bazelor înseşi ale acestei teorii şi nu pot deci servi ca platformă de încercare. Cel mai celebru este cel cunoscut sub numele de „paradoxul călătorului lui Langevin". Doi gemeni, J_1 şi J_2, legaţi iniţial de sistemul S, se separă, J_1 efectuînd o călătorie care îl readuce în final în sistemul de referinţă iniţial. Se constată atunci că acest călător J_1 a îmbătrînit mai puţin decît J_2, şi aceasta cu atît mai mult cu cît viteza sa a fost mai mare. Compararea lui J_1 cu J_2 ar permite deci detectarea acelui sistem de referinţă care a rămas nemişcat, ceea ce este contrar principiului relativităţii. Or, este clar că în acest „paradox" intervine noţiunea de acceleraţie la pornire, la sosire şi la o eventuală schimbare de direcţie. Oricare ar fi aceste acceleraţii, intervenţia lor inevitabilă leagă această problemă de principiile relativităţii generale şi nu de cele ale relativităţii restrînse.

Prin definiţie, o problemă de relativitate restrînsă are ca scop compararea evaluărilor spaţio-temporale ale aceluiaşi eveniment în două sisteme lorentziene, ceea ce exclude compararea a două evenimente într-un singur sistem de referinţă, care ar căpăta atunci un rol privilegiat.

În sfîrşit, relativitatea restrînsă nu se interesează decît de un transport efectiv de materie sau de energie.

În cazul unei propagări a undelor, viteza de grup V reprezintă o propagare de energie şi ca atare rămîne totdeauna inferioară vitezei luminii. Dimpotrivă, viteza de fază a undelor ($u = c^2 / V$), care este o mărime cu dimensiunile unei viteze, nu reprezintă nici un transport de materie sau de energie. Ea poate fi deci superioară lui c.

Orice propagare reală are deci o viteză inferioară lui c. Din această cauză cursul evenimentelor legate de un sistem propriu nu poate fi inversat în nici un alt sistem de referinţă. Această proprietate este legată, în particular, de noţiunea de cauzalitate: dacă două fenomene A şi B sînt astfel încît $A \rightarrow B$, există o propagare cu viteză inferioară lui c de la A spre B: ordinea evenimentelor A, B este atunci aceeaşi în toate sistemele de referinţă.

CONSTRUIREA UNEI DINAMICI RELATIVISTE. ECHIVALENŢA MASĂ-ENERGIE.

Teoria electromagnetică a lui Maxwell era, înainte de orice, relativistă. Introducerea unei inducţii (Faraday) şi a unui curent de deplasare (Maxwell) a permis enunţarea ecuaţiilor electromagnetice într-un formalism perfect covariant.

Dimpotrivă, a fost necesară o retranscriere a legii fundamentale a dinamicii: fiind invariantă într-o transformare galileiană, această lege trebuia să obţină şi o invarianţă Lorentz.

În acest caz este necesară efectuarea transformării $f = m_0 \dfrac{dv}{dt} \rightarrow F = m_0 \dfrac{du}{d\tau}$; $\left(u^\mu = \dfrac{dx^\mu}{d\tau}\right)$, m_0 fiind masa de repaus a particulei, u^μ — viteza, definită în funcţie de timpul propriu τ al fiecărui sistem lorentzian (timp pe care l-ar indica un ceas nemişcat din acest sistem).

Dar energia cinetică $T_0 = 1/2\, m_0 v^2$ este definită în dinamica newtoniană prin $\vec{f} \cdot \vec{v} = dT_0 / dt$.

În dinamica relativistă, se va obţine analog $\vec{F} \cdot \vec{v} = dT / dt$, unde $T = (m - m_0)c^2$. Masa $m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$, masa particulei mobile, permite definirea unei energii a particulei, $W = mc^2 = T + m_0 c^2$, care diferă de energia cinetică T printr-o energie de repaus $W_0 = m_0 c^2$. W_0 reprezintă *energia internă* a particulei; ea este echivalentă unei mase de repaus $m_0 = W_0 / c^2$.

Echivalenţa dintre masă şi energie (Einstein, 1905) este adesea denumită *principiul inerţiei energiei*. Conform acestuia nu mai există, ca în dinamica newtoniană, o conservare a masei, separată de conservarea energiei. Variaţia masei, $\Delta m = m - m_0 = T/c^2$, este egală cu raportul dintre energia emisă şi c^2 (de exemplu, dacă este vorba de o particulă liberă care emite o radiaţie, variaţia masei particulei este egală cu $h\nu/c^2$).

Dacă este vorba de un sistem de n particule, se poate defini şi o energie totală Ω care corespunde unei mase $M_0 = \Omega / c^2$ a sistemului global.

Un sistem stabil de particule legate, de exemplu un nucleon, este caracterizat prin $\Delta m = \Sigma_n (m_0)_n - M_0 > 0$, unde $M_0 < \Sigma_n (m_0)_n$. Masa unui nucleon stabil fiind mai mică decît suma maselor particulelor care îl constituie, pentru a descompune acest nucleon în elementele sale trebuie să i se furnizeze o energie pozitivă. Dimpotrivă, într-un sistem instabil de particule legate (nucleon instabil), defectul de masă este negativ: $\Delta m = \Sigma_n (m_0)_n - M_0 < 0$, unde $M_0 > \Sigma_n (m_0)_n$. Masa nucleonului instabil fiind mai mare decît cea a constituenţilor săi, nucleul se poate dezintegra în elementele sale, eliberînd energie.

Se poate astfel prevedea, prin consideraţii elementare de dinamică relativistă, existenţa unui defect de masă Δm capabil să elibereze energii $\Delta E = c^2 m$ considerabile. În aceasta constă principiul producerii energiei atomice.

Vom aminti că în sistemele de particule libere este, de asemenea, valabilă relaţia $\Delta m = \Sigma_n (m_0)_n - M_0 < 0$, unde $M_0 > \Sigma_n (m_0)_n$.

Astfel, pornind de la o radiaţie de energie $\Delta E = h\nu$, se poate obţine crearea de perechi de electroni-pozitroni cu energia totală $2m_0c^2$. Invers, se poate observa o anihilare a perechilor respective, însoţită de emisia unei radiaţii. Aceste fenomene de *materializare* şi de *dematerializare* se observă în cazul proceselor la energii înalte, în particular în radiaţiile cosmice.

3. Importanţa şi aplicaţiile relativităţii restrînse

Verificările experimentale ale relativităţii restrînse depăşesc cu mult experienţele destinate a pune direct în evidenţă valabilitatea bazelor sale. Relativitatea restrînsă reprezintă într-adevăr o cinematică, ale cărei consecinţe, ca şi cele din mecanica clasică, intervin în cea mai mare parte a fenomenelor şi a teoriilor bazate pe ea. Concluziile unei mari părţi a fizicii clasice sau cuantice reprezintă de fapt verificări indirecte ale relativităţii restrînse.

La ora actuală, orice teorie fizică trebuie să fie „relativistă“, dacă în ea intervin propagări rapide şi energii mari.

Vom cita ca exemplu teoria cuantică şi relativistă a electronului, edificată de Dirac, în 1929. Aplicarea unui formalism relativist conduce la prevederea unui moment magnetic propriu al electronului (spin). În cazul clasic, un astfel de formalism ar fi condus la prevederea unui curent de deplasare. În teoria electronului, acest formalism necesită definirea unui spin ale cărui proprietăţi sînt verificate de numeroase experienţe asupra distribuţiei intensităţii spectrelor cu structură fină. Verificările teoriei lui Dirac şi, în general, ale electrodinamicii cuantice relativiste reprezintă deci tot atîtea verificări indirecte ale relativităţii restrînse[2].

Limitînd verificările la cazurile cele mai directe, există posibilitatea folosirii a trei tipuri de fenomene: încetinirea ceasurilor, variaţia masei cu viteza şi echivalenţa dintre masă şi energie.

---

[2] La drept vorbind, existenţa spinului particulelor (şi nu a spinului particular 1/2 al electronului) este ceea ce rezultă cu necesitate din aplicarea teoriei relativităţii via aşa-zisa algebră Lie asociată grupului Poincaré. Faptul că electronul, care este inter alia o particulă stabilă, are spin 1/2 (reprezentarea matricială de dimensionalitatea cea mai joasă a grupului rotaţiilor) trebuie considerat ca un postulat special care fixează structura respectivei particule. — *N.I.-P.*

ÎNCETINIREA CEASURILOR. VIAŢA MEDIE A MEZONILOR. Compararea ceasurilor dintr-un sistem propriu (durata $\Delta\tau$) şi dintr-un sistem lorentzian oarecare (durata Δt a aceluiaşi eveniment) permite prevederea unei încetiniri specific relativiste a duratelor, $\Delta t = \Delta\tau/\sqrt{1-\beta^2} > \Delta\tau$.

Aplicînd principiile cinematicii relativiste la propagarea unei unde plane monocromatice, se obţine:

1. O modificare a frecvenţei radiaţiei emise de o sursă, dacă există o mişcare relativă sursă-observator: acesta este efectul Doppler: $\nu = \nu_0\sqrt{1-\beta^2}/(1-\beta\cos\theta)$.
2. O schimbare a direcţiei de propagare: acesta este fenomenul de aberaţie.

Ambele efecte cuprind un aport clasic (termeni în β) şi un aport specific relativist (termeni în β^2), datorat încetinirii ceasurilor.

Acest termen de ordinul al doilea, mascat de obicei de efectul clasic de ordinul întîi, a fost pus în evidenţă de experienţele lui Ives şi Stillwell (1941), care au fost cu atît mai convingătoare, cu cît autorii lor încercau să detecteze aporturile de ordinul al doilea, corespunzătoare unei legi nerelativiste. Aceste experienţe fac să intervină efectele Doppler produse de radiaţia provenită de la fascicule monocinetice de hidrogen ionizat. Vitezele care intră în joc sînt de ordinul $\beta \simeq 0{,}007$.

Mezonii μ, detectaţi în radiaţia cosmică, se dezintegrează după o viaţă medie τ. Aceasta poate fi măsurată pe fotografiile obţinute cu o cameră Wilson sau cu ajutorul unor contori de radiaţii. În acest caz, este vorba de o viaţă medie τ_0 în repaus: mezonul este de fapt stopat acolo unde apare primul său electron de dezintegrare. Această viaţă medie (dinaintea dezintegrării) ar corespunde, în atmosfera superioară, unui „parcurs mediu liber" $L = c\tau_0 = 600$ m, deoarece mezonul se deplasează cu o viteză apropiată de cea a luminii. Dar parcursurile medii libere măsurate în atmosfera superioară pentru mezonii respectivi corespund la mai mulţi kilometri, adică, la o viaţă medie τ mult mai mare. Se verifică astfel previziunile relativiste: $\tau = \tau_0\sqrt{1-\beta^2} > \tau_0$, pentru viteze pentru care $\beta = 0{,}99$.

TRAIECTORIILE PARTICULELOR ÎNTR-UN CÎMP ELECTROMAGNETIC. O particulă încărcată, care se mişcă într-un cîmp electric şi într-un cîmp magnetic, perpendiculare între ele şi perpendiculare pe direcţia deplasării, suferă o deviaţie. Dacă este vorba de particule identice (acelaşi raport e/m dintre sarcină şi masă), animate de viteze diferite, conform legilor electrodinamicii clasice, s-ar observa o distribuţie parabolică a punctelor de impact a acestor particule. Conform mecanicii relativiste, aceste particule s-ar distribui, dimpotrivă, după o curbă de gradul 4.

Această experienţă, care a fost realizată de către Guye şi Lavanchy (1916) şi apoi perfecţionată de Nacken (1935), a confirmat previziunile dinamicii relativiste.

Acest rezultat a fost posibil datorită metodelor de accelerare a particulelor grele (protoni, deuteroni, particule α) cu ajutorul unui cîmp magnetic. La ciclotron, un cîmp magnetic accelerator, ortogonal cu vitezele, imprimă acestor particule o traiectorie circulară. Dacă masele nu ar creşte cu viteza, frecvenţa $\nu = \omega / 2\pi = eH / 2\pi m_0 c$ ar fi constantă şi raza r a cercului descris de particule ($r = N / \omega$) ar creşte cu viteza, adică la fiecare nou impuls al cîmpului accelerator. La vitezele mari astfel atinse, masa ($m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$) crește și, în consecință, frecvența scade. Apare un efect de frînare care poate fi eliminat prin sincronizarea cîmpului accelerator cu mișcarea particulelor încărcate. La sincrotron intensitatea cîmpului magnetic se modulează astfel încît să crească atunci cînd m crește; la sincrociclotron, se modulează, dimpotrivă, frecvența cîmpului accelerator astfel ca să scadă, atunci cînd m crește (vezi pp. 357, 363).

LEGILE RELATIVISTE ALE CIOCNIRII ELASTICE. Legile ciocnirii elastice dintre particule se obțin din bilanțurile energetice stabilite înainte și după ciocnire. Conform mecanicii clasice, ciocnirea elastică a unei particule incidente cu o particulă de aceeași masă, inițial în repaus, conduce la traiectorii care formează între ele un unghi drept. Dinamica relativistă prevede, dimpotrivă, unghiuri ascuțite între aceste traiectorii.

Previziunile sînt în bună concordanță cu experiența. De exemplu, ciocnirea unui electron incident (cu $\beta = 0,968$) cu un electron în repaus va conduce, în camera Wilson, la un unghi între traiectorii de 60° (F. Joliot). În aceleași condiții, o viteză incidentă dată de $\beta = 0,93$ conduce la un unghi de 72° (L. Leprince-Ringuet). Rezultate analoage se obțin pentru ciocnirile între mezoni de înaltă energie.

Un caz special de ciocnire relativistă se referă la ciocnirea dintre un foton de energie $h\nu$ și un electron de masă m_0, aflat inițial în repaus: frecvența fotonului împrăștiat după ciocnire se modifică și depinde de unghiul de împrăștiere; variația sa este egală cu lungimea de undă Compton ($\Delta\lambda = h/m_0c$), dacă împrăștierea se efectuează în unghi drept. Și în acest caz rezultatele experimentale sînt în perfect acord cu previziunile relativității restrînse.

ECHIVALENȚA DINTRE MASĂ ȘI ENERGIE. Eliberarea de energie prevăzută de bilanțurile interacțiilor nucleare reprezintă verificarea cea mai spectaculoasă a relativității restrînse.

În cazul sistemelor stabile ($\Delta m = \sum_n (m_0)_n - M_0 < 0$), au fost puse în evidență defecte de masă corespunzînd unor structuri nucleare în care energia de legătură dintre nucleoni era deosebit de mare.

Vom cita ca exemplu cazul simplu al deuteronului ${}_1^2$D, adică nucleul de hidrogen greu, a cărui masă este $m_0 = 2,01417$ în baza O = 16. Acest deuteron este format dintr-un proton ($m_p = 1,00757$) și dintr-un neutron ($m_n = 1,00893$). Defectul de masă teoretic

$$(1,00757 + 1,00893) - 2,01417 = 0,00233 \text{ unități de masă} = 0,0387 \cdot 10^{-25} \text{ g},$$

este în perfect acord cu rezultatele experimentale obținute prin spectroscopia de masă.

În cazul sistemelor nestabile, obținute prin bombardarea anumitor nuclee cu protoni sau cu neutroni rapizi, se constată o dezintegrare care poate fi însoțită de o enormă eliberare de energie. Producerea și aplicațiile acestei energii atomice, adesea prea celebre, au contribuit la ilustrarea, în ochii marelui public, a marii reforme din 1905 a fizicii.

B. RELATIVITATEA GENERALĂ

Fără a încerca să cultivăm paradoxul, am putea afirma că relativitatea restrînsă nu este o teorie fizică, în sensul că ea nu este teoria nici unui fenomen particular. Ea nu se reduce la un punct de vedere determinat, ci reprezintă în esență o cinematică. Ea formează astfel baza teoriilor fizice care vor fi obligatoriu „relativiste“, dar care își vor păstra domeniul lor explicativ specific.

Dimpotrivă, relativitatea generală prezintă întotdeauna un dublu aspect. Pe de o parte, ea reprezintă o generalizare naturală a principiului relativității restrînse la sisteme accelerate. Pe de alta, ea își propune să fie o teorie fundamentală a cîmpului de gravitație. În principiu, aceste două roluri sînt complet diferite. Principiul de echivalență este cel care le leagă unul de altul.

1. Principiul relativității generale

LIMITELE PRINCIPIULUI RELATIVITĂȚII RESTRÎNSE. Principiul relativității restrînse se traduce prin covarianța legilor fizicii în cazul unei transformări Lorentz. El presupune imposibilă detectarea mișcării rectilinii și uniforme a unui sistem de referință prin intermediul unei experiențe oarecare.

Totuși, este evident că acest principiu de relativitate nu se extinde și la sistemele accelerate. Mișcarea unor astfel de sisteme (rotații, mișcări uniform accelerate) poate fi în principiu, totdeauna pusă în evidență. Experiențe tipice realizate asupra acestui subiect sînt, pe de o parte, experiența lui Foucault în mecanică, iar pe de alta, măsurătorile lui Harress, Sagnac și Pogany în optică.

Experiența cu pendulul lui Foucault (vezi vol. III, p. 116) evidențiază rotația planului de oscilație al unui pendul vertical. Acest plan s-ar roti cu 360° în 24 ore dacă pendulul ar fi situat la pol. Astfel, în timp ce mișcarea de translație a Pămîntului în raport cu eterul nu poate fi pusă în evidență, rotația sa poate fi, dimpotrivă, ușor detectată.

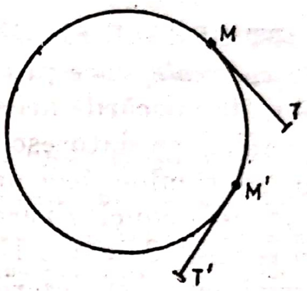
S-a spus că experiențele lui Harress, Sagnac și Pogany reprezintă „perechea“ optică a experienței lui Foucault. Dacă se dispun niște oglinzi pe circumferința unui disc, două fascicule de lumină emise de aceeași sursă, separate printr-o lamă semitransparentă, pot efectua în sens invers, de-a lungul discului, două parcursuri optic egale. Dacă discul se rotește, se constată, prin măsurători de interferență, o diferență între duratele de parcurs.

Pentru a efectua traiectorii geometric egale, cele două fascicule necesită durate diferite, după cum se deplasează în sensul rotației discului sau în sens contrar. Această diferență, $\Delta t = 4\omega\varphi / c^2$ — unde ω este viteza unghiulară, φ suprafața discului, iar c viteza luminii — este aceeași dacă sursa și interferometrul sînt dispuse pe același disc sau dacă, dimpotrivă, sînt independente (Langevin). Diferența nu se schimbă dacă parcursul are loc mereu în aer (Sagnac 1913), în prisme de sticlă (Harress, 1912), sau în tuburi umplute cu apă (Pogany).

Aceste experiențe par să ofere posibilitatea definirii mișcărilor absolute. În particular, rotația Pămîntului pare a se raporta la o formă vidă care reintroduce noțiunea de spațiu absolut. Relativitatea restrînsă ar fi amînat astfel introducerea sa în fizică, punînd-o în seama noțiunii de sisteme accelerate.

FORŢELE DE INERŢIE ŞI INTRODUCEREA UNUI UNIVERS NEEUCLIDIAN. S-au propus, cu diferite ocazii, teorii „aproximative“ ale discului rotitor, bazate pe o geometrie minkowskiană. Aceste teorii încercau să justifice rezultatele obţinute de Harress, Sagnac şi Pogany, asimilînd fiecare element al discului cu sistemul de referinţă lorentzian cu care el coincide instantaneu. Aceste teorii „locale“ sînt totuşi incapabile să conducă la o descriere corectă, chiar şi aproximativă, a situaţiei.

Într-adevăr, este imposibil să reunim diferitele descrieri „locale“ euclidiene referitoare la fiecare element al conturului discului, într-o descriere globală, tot euclidiană, capabilă să reprezinte în întregime discul. Totul se petrece ca şi cum fiecare descriere locală (în M) ar fi valabilă în spaţiul tangent MT la disc, care este în mod evident un spaţiu euclidian.



Ea ar avea loc, de asemenea, şi în M', într-un alt spaţiu euclidian tangent, $M'T'$. Totuşi, coerenţa globală a tuturor acestor reprezentări euclidiene locale nu poate fi asigurată decît într-un spaţiu curb, tangent la diferitele spaţii plane MT, $M'T'$ etc. (Într-adevăr, adevărata problemă constă nu în racordarea diverselor tangente prin intermediul unei curbe, ci a diferitelor spaţiu-timpuri euclidiene prin intermediul unui spaţiu-timp curb.)

É. Cartan a demonstrat, într-un mod foarte simplu, că efectele unei forţe de inerţie pot fi oricînd puse pe seama structurii geometrice a spaţiu-timpului. Enunţul principiului de inerţie se bazează pe noţiunea de sisteme galileiene echipolente. Modificînd sensul cuvîntului „echipolent“ pentru a-i include ideea de mişcare uniformă cu viteza $\vec{F}\,dt$, sîntem conduşi la extinderea noţiunii de sistem inerţial; cu acest nou sens, ea se aplică la sistemele accelerate.

Totuşi, modificarea sensului cuvîntului echipolent înseamnă de fapt schimbarea geometriei. În această geometrie generalizată, echipolenţa a două sisteme de referinţă ar caracteriza alte sisteme inerţiale noi. Reformularea acestei echivalenţe în spaţiu-timpul minkowskian ar conduce la apariţia „acceleraţiilor“, pe care o geometrie mai generală le-ar ascunde. Prin urmare, nu există bariere etanşe între dinamică şi geometrie, cea din urmă putînd îngloba proprietăţile ce aparţin celei dintîi.

În acest fel, introducerea unui univers neeuclidian permite extinderea principiului relativităţii la sisteme accelerate oarecare. Ea pune astfel în evidenţă şi caracterul pur *local* al acestei echivalenţe între sistemele accelerate şi sistemele inerţiale. Totul se petrece ca şi cum sistemele inerţiale ar fi legate de un spaţiu neeuclidian (pentru care sfera ne poate furniza doar o imagine aproximativă şi provizorie), iar acceleraţiile, de diferitele spaţii tangente (planele tangente la sferă). Asimilarea forţelor de inerţie (a acceleraţiilor) cu o structură geometrică se reduce la confundarea unei porţiuni din sferă cu planul său tangent. Această echivalenţă între forţele de inerţie şi structurile geometrice este limitată la o mică regiune din vecinătatea punctului luat în considerare.

Înglobînd deci noţiunea de acceleraţie într-o structură geometrică, reprezentările neeuclidiene furnizează un mijloc de a stabili un principiu de echivalenţă — adică de relativitate — între sisteme accelerate. Ele justifică un *principiu al relativităţii generale* şi permit, de asemenea, precizarea caracterului său local. Pe lîngă justificarea enunţului acestui principiu, reprezentările respective îi precizează şi limitele.

2. Principiul de echivalenţă

FORŢE REALE ŞI FORŢE FICTIVE. Newton admisese o deosebire profundă între *forţele reale*, care produc efecte măsurabile, şi *forţele fictive*, introduse, de exemplu, de mişcările accelerate. După el, aceste forţe fictive (forţa centrifugă, forţa Coriolis) se datoresc alegerii sistemului de referinţă. În cazul spaţiului absolut nu ar rămîne deci decît forţele reale.

Aceste concluzii erau deosebit de controversate la sfîrşitul secolului al XIX-lea, în special de către Hertz şi Mach. Aceşti fizicieni considerau că orice punct material care nu descrie o dreaptă cu o mişcare uniformă poate suferi o alegere eronată a sistemului de referinţă, dar poate fi supus, la fel de bine, şi unor forţe reale pe care nu am ştiut să le detectăm.

Hertz (1894) presupunea că mişcările provocate de forţele de inerţie necesită legături cu alte mase; adică constrîngeri ascunse. Sub influenţa lor, un punct material se mişcă în conformitate cu principiul constrîngerii minime: mişcarea efectivă este aceea care diferă cel mai puţin de o mişcare rectilinie şi uniformă. Principiul inerţiei, care este un caz particular al principiului constrîngerii minime, corespunde astfel nu la absenţa unor forţe, ci la absenţa unor mase ascunse.

Criticile lui Mach au influenţat considerabil gîndirea lui Einstein. Mach (1883) atribuia caracterul privilegiat al sistemelor inerţiale intervenţiei maselor îndepărtate, a căror influenţă este imposibil de eliminat. El presupunea, de exemplu, că toate sistemele de referinţă ar fi echivalente şi ar constitui sisteme inerţiale dacă Pămîntul ar fi singur în spaţiul cosmic. Rotaţia planului de oscilaţie al pendulului lui Foucault ar traduce astfel nu o rotaţie în raport cu spaţiul absolut, ci influenţa efectivă a aştrilor îndepărtaţi.

ECHIVALENŢA ÎNTRE FORŢELE DE INERŢIE ŞI FORŢELE DE GRAVITAŢIE. Forţele de inerţie sînt capabile să comunice unui corp dat o acceleraţie independentă de el ($\gamma = \omega^2 r$ în mişcarea circular-uniformă). Forţele de gravitaţie se bucură de aceeaşi proprietate dacă se admite — cum sugerează experienţa — o echivalenţă între masa grea şi masa inertă.

Într-adevăr, masa inertă (rezistenţa la acceleraţie) intervine în legea fundamentală a dinamicii, $F = m\gamma$. Masa grea M se manifestă în acţiunile de atracţie descrise de legea newtoniană $F = -KMM'/r^2$.

Dacă raportul maselor $M/m = C$ este o constantă universală, independentă de corpul considerat, legea de atracţie newtoniană face apel doar la masele inerte: $F = -KC^2mm'/r^2 =$

$= -Gmm'/r^2$ (unde $G = KC^2$), iar compararea cu legea fundamentală permite prezicerea acceleraţiilor gravitaţiei $\gamma = -Gm'/r^2$, care vor fi strict *independente*, ca şi acţiunile inerţiei, *de masa m a corpului dat*. Or, identitatea între masa grea şi masa inertă (ce poate fi oricînd dedusă din $C = 1$, printr-o alegere potrivită a unităţilor) a fost postulată de Newton, dar se bazează şi pe numeroase verificări experimentale.

Experienţa clasică a „tubului lui Newton" dovedeşte că „în vid, toate corpurile cad cu aceeaşi viteză". Aceste experienţe au fost perfecţionate de Bessel în timp ce verificările au fost realizate de Eötvös şi Zeeman, după care Southern şi Zeeman au dovedit, cu un grad mare de precizie, că masa grea şi masa inertă pot fi confundate.

În acest fel, acceleraţiile datorate forţelor de inerţie pot fi asimilate celor produse de forţele de gravitaţie, şi unele şi altele fiind independente de masa corpului studiat. Aceasta este semnificaţia principiului de echivalenţă.

În aceste condiţii, se poate prevedea că forţele de gravitaţie, ca şi forţele de inerţie, ar putea fi modificate şi, eventual, eliminate printr-o alegere potrivită a sistemului de referinţă.

Einstein a propus exemplul devenit clasic al unei mingi lăsate liberă în interiorul unui ascensor, el însuşi aflat în cădere liberă: în raport cu pereţii ascensorului, mingea este nemişcată, adică se menţine la aceeaşi distanţă de duşumea. Dacă, dimpotrivă, ascensorul suferă, de sus în jos, o acceleraţie superioară acceleraţiei terestre *g*, mingea se va lipi de tavan, iar dacă această acceleraţie va fi inferioară lui *g*, mingea va „cădea" spre duşumea. Cu alte cuvinte, alegînd corespunzător un reper accelerat, se pot oricînd modifica şi chiar suprima efectele unui cîmp de gravitaţie. Experienţele realizate la bordul sateliţilor ne-au familiarizat cu aceste concluzii.

Deci, o experienţă efectuată într-un sistem accelerat nu permite detectarea mişcării acestui sistem. Într-adevăr, putem presupune oricînd acest sistem imobil, iar mişcarea unui corp dat poate fi atribuită prezenţei unui cîmp de gravitaţie local, convenabil ales.

Această posibilitate, datorată identităţii dintre masa grea şi masa inertă, permite enunţarea unui principiu de „echivalenţă locală" între forţele de gravitaţie şi forţele de inerţie, adică, prin intermediul introducerii forţelor de gravitaţie adaptate, permite enunţarea unui principiu de *echivalenţă locală a sistemelor accelerate*. El permite extinderea principiului relativităţii.

3. Relativitatea generală. Teoria neeuclidiană a cîmpului de gravitaţie

FORŢELE DE GRAVITAŢIE ŞI INTRODUCEREA UNUI UNIVERS NEEUCLIDIAN. Forţele de inerţie pot fi înglobate local într-un univers neeuclidian dat. Pe de altă parte, forţele de gravitaţie sînt local echivalente cu forţele de inerţie. Un silogism evident permite deci să se tragă concluzia că forţele de gravitaţie pot fi şi ele înglobate în structura unui univers neeuclidian. Acesta a fost raţionamentul care a reuşit să-l conducă pe Einstein de la principiul de echivalenţă la relativitatea generală, în calitate de teorie neeuclidiană a cîmpului de gravitaţie.

În cadrul acestei teorii, efectul unui corp greu nu este deci de a crea acţiuni specifice la distanţă, ci de a curba universul în vecinătatea sa. În acest univers curb creat de corpul greu, un alt corp dat nu este supus nici unei forţe; el este deci „liber".

În aceste condiţii, corpul care se mişcă liber va descrie traiectoriile „cele mai drepte" din acest univers, adică geodezicele acestui spaţiu (de exemplu, cercurile mari ale unei sfere). A afirma că un punct material este supus unor forţe de gravitaţie într-un spaţiu euclidian se reduce la a postula că aceste traiectorii neeuclidiene sînt geodezicele universului curb creat de o masă grea în vecinătatea sa.

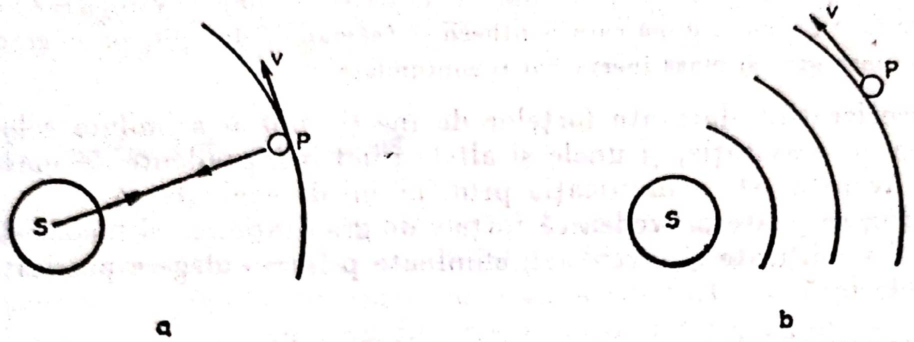


FIG. 1. CÎMPUL GRAVITAŢIONAL, CONFORM TEORIEI LUI NEWTON ŞI A LUI EINSTEIN. (După teoria lui Newton, o particulă P este supusă forţelor create de corpul central S (a); după teoria lui Einstein, o particulă P se mişcă liber în spaţiul curbat de corpul central (b)S.)

ROLUL PRINCIPIULUI DE ECHIVALENŢĂ. Principiul de echivalenţă leagă următoarele două teoreme:

a) Forţele de inerţie pot fi înglobate local în structuri neeuclidiene, ceea ce conduce la un *principiu al relativităţii generale.*

b) Forţele gravitaţionale prezintă şi ele o astfel de structură, ceea ce implică *o teorie neeuclidiană a fenomenelor gravitaţionale.*

Fără îndoială, echivalenţa inerţie-gravitaţie este realizată într-un mod aproape riguros, totuşi această afirmaţie are o bază experimentală şi nu una logică.

Dacă se constată, de exemplu, că masa grea nu se reduce total la masa inertă, forţele gravitaţionale nu ar putea fi considerate drept forţe de inerţie şi deci nu ar putea fi înglobate riguros în structuri geometrice. În acest caz, ar trebui dezvoltate teorii euclidiene ale gravitaţiei, relativiste totuşi în sensul restrîns, adică invariante la o transformare Lorentz.

O astfel de teorie ar fi analoagă, *mutatis mutandis*, cu teoria electromagnetică a lui Maxwell. Într-adevăr, analogia dintre legea lui Newton şi cea a lui Coulomb este continuată în formalismul lui Poisson şi chiar în interpretarea cîmpurilor pe baza unor teorii euclidiene.

Totuşi, în timp ce transcrierea corpusculară a teoriei lui Maxwell se referă la o particulă cu spin 1 (moment cinetic propriu egal cu unitatea), fotonul, o teorie relativistă a gravitaţiei necesită o particulă de spin 2, gravitonul. Teorii ale gravitonului au fost dezvoltate mult după apariţia relativităţii generale (M. Fierz şi W. Pauli, 1940; M.A. Tonnelat, 1940; G. Birkhoff, 1944), deoarece extinderea principiului relativităţii reprezenta calea cea mai naturală ce putea fi urmată după 1905. Aplicarea sa la fenomenele gravitaţionale reprezintă încercarea cea mai interesantă şi cea mai elegantă. Dar ea nu este totuşi obligatorie.

În orice caz, principiul echivalenţei este cel care conduce fenomenele gravitaţionale spre o eventuală interpretare neeuclidiană. Această intervenţie a unui spaţiu curb, logic necesară pentru o reprezentare globală a mişcărilor accelerate, este posibilă numai cînd este vorba de fenomene gravitaţionale şi numai cînd principiul echivalenţei nu o impune. Astfel, deşi departe de a permite o revenire a gravitaţiei spre o teorie euclidiană imposibilă a inerţiei, un principiu de echivalenţă riguros reprezintă condiţia necesară şi suficientă a relativităţii generale ca teorie neeuclidiană a cîmpului gravitaţional[3].

4. Legea gravitaţională a lui Einstein

LEGEA NEWTONIANĂ A ATRACŢIEI. În cursul secolelor al XVIII-lea şi al XIX-lea, legea newtoniană a atracţiei a cunoscut un succes aproape universal. Aplicarea sa la mecanica cerească permitea ca, după cum afirma H. Poincaré, obiectul acestei ştiinţe să fie considerat drept o completă verificare a legii newtoniene. Rarele discordanţe experimentale semnalate în cursul secolului al XIX-lea se refereau mai ales la mişcarea planetelor mari şi îndeosebi la planeta Mercur.

În mişcarea sa în jurul Soarelui, aceasta descrie o elipsă ce nu se închide exact, datorită influenţelor perturbatoare ale celorlalte planete. Periheliul traiectoriei prezintă astfel un avans secular pe care tabelele astronomice newtoniene îl evaluează la 530 de secunde de arc. Or, experienţa permite detectarea unui avans secular rezidual pe care aceste tabele nu-l prevăd (de 38″ după Le Verrier, 1850, sau de 42″ după Newcomb, 1880).

Alte dezacorduri (ca avansul de 8″ al periheliului planetei Marte, sau ca avansul „nodurilor") sînt mai nesigure. Iar cele detectate în mişcarea Lunii pot fi atribuite unor cauze foarte neclare şi încă insuficient cunoscute (influenţa mareelor). Doar avansul periheliului lui Mercur depăşeşte cu mult erorile experimentale şi reprezintă o sfidare minoră, dar de netăgăduit, faţă de legea newtoniană a atracţiei.

Fără îndoială că această discordanţă putea fi atribuită prezenţei unui fenomen secundar care ar fi scăpat experienţei: inelul de mici planete ce ar exista între Mercur şi Soare (Le Verrier), nesfericitatea Soarelui, sau lumina zodiacală (Seeliger). Din nefericire, astfel de fenomene nu au fost niciodată detectate, iar dacă ar exista, ar antrena perturbaţii dezastruoase în evaluarea mişcării şi a celorlalte planete.

---

[3] Credem că afirmaţia despre imposibilitatea unei teorii euclidiene a gravitaţiei este prea categorică. În ultimii cîţiva ani Deser şi Laurent în S.U.A. şi N. Rosen în Israel au construit atari teorii fără a întîmpina vreo dificultate aparentă. Pe de altă parte, însăşi ecuaţiile relativităţii generale ale lui A. Einstein pot fi reformulate în termenii metricii unui spaţiu plat, fără aproximaţie. Astăzi ideea utilizării simultane a două metrici — una plată, pentru descrierea structurii geometrice intrinseci a Universului explorat de centrul de inerţie al unui agregat material izolat, şi alta curbă, cu funcţiune dinamică, necesară pentru formularea variaţională a mişcării via o funcţiune Lagrange — prinde din ce în ce mai mult teren. — *N.I.-P.*

S-a preferat deci o încercare de modificare a legii lui Newton prin intermediul unor corecţii potrivit alese. Avansul observat al periheliului lui Mercur se poate astfel obţine înlocuind legea de atracţie de tip $1/r^2$ printr-o lege de tip $1/r^n$ (cu $n \simeq 2{,}00000016$). S-ar putea introduce, de asemenea, nişte termeni de corecţie mici (legea lui Hall, a lui Descombes, a lui Laplace), dar aceste modificări conduc şi ele la dificultăţi pentru alte previziuni.

Apariţia relativităţii restrînse necesită o lege de atracţie relativistă în sens restrîns, excluzînd astfel „aporturile insignifiante" ale formalismului iniţial.

LEGEA LUI EINSTEIN, CONDIŢIE STRUCTURALĂ A UNUI SPAŢIU RIEMANN. Expresia riguroasă a legii lui Einstein nu poate fi strict dedusă din principiile calitative pe care le-am enunţat. Totuşi, forma sa poate fi obţinută aproximativ prin inducţie.

Legea gravitaţiei se exprimă printr-o condiţie structurală care traduce un fel de echilibru între aportul surselor cîmpului (energie-impuls material, electromagnetic etc.) şi datele geometrice. Pe baza formei legii lui Newton, se poate arăta că aportul surselor trebuie asimilat cu un impuls-energie reprezentat de un tensor simetric cu componentele $T_{\mu\nu}$ ($T_{\mu\nu} = T_{\nu\mu}$; $\mu, \nu = 1, 2, 3, 4$). Sursele creează, de asemenea, o curbură a spaţiu-timpului, care se traduce pentru noi prin existenţa unui cîmp gravitaţional. Aportul surselor este echilibrat de o combinaţie $S_{\mu\nu}$ a componentelor curburii (şi în consecinţă a cîmpurilor). Deci legea gravitaţiei va fi de forma

$$S_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}.$$

Elementul structural $S_{\mu\nu}$ este construit pornind de la curbura unui spaţiu Riemann. Aceasta se exprimă complet prin intermediul „metricii" $g_{\mu\nu}$:

$$S_{\mu\nu} \simeq -\frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{c^2 \partial t^2} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Astfel, impunînd curburii contractate $S_{\mu\nu}$ (sau tensorului Einstein) să verifice condiţia precedentă, se obţine o lege de gravitaţie capabilă să se reducă, într-o primă aproximaţie, la legea atracţiei newtoniene. În aceste condiţii, potenţialul scalar de gravitaţie newtoniană V este, în realitate, componenta g_{00} a metricii.

O masă dată (de exemplu Soarele), cu un impuls-energie $T_{\mu\nu}$, curbează universul în vecinătatea sa. Rezultă o metrică $g_{\mu\nu}$, care permite calcularea curburii $S_{\mu\nu}$. Condiţiile structurale constau tocmai în legătura dintre această curbură $S_{\mu\nu}$ şi impuls-energia surselor. Din punct de vedere fenomenologic, aceste condiţii structurale reprezintă în mod natural o lege gravitaţională.

Dacă o particulă dată (de exemplu o planetă) se găseşte în acest cîmp, ea se mişcă „liber" în spaţiul neeuclidian creat de surse. Traiectoria sa este o geodezică a acestui spaţiu, determinată de metrica $g_{\mu\nu}$. Dîndu-se sursele, se pot deci calcula, pornind de la legea gravitaţională, potenţialele gravitaţionale $g_{\mu\nu}$. Introduse în expresia traiectoriilor, adică a geodezicelor, acestea determină complet traiectoriile particulelor. Pornind de la metrică şi de la o condiţie structurală a spaţiului, se poate determina riguros mişcarea planetelor.

5. Verificările legii lui Einstein

CÎMPUL GRAVITAŢIONAL CREAT DE UN CORP CU SIMETRIE SFERICĂ. Legea gravitaţională a lui Einstein se reduce, în cazul unui cîmp gravitaţional suficient de mic, la legea newtoniană a atracţiei. Toate previziunile acesteia din urmă vor fi deci şi consecinţe ale teoriei lui Einstein. În acest fel, pentru a atribui acestei teorii o semnificaţie, este necesară deducerea concluziilor ei nenewtoniene şi verificarea lor experimentală.

Legea de atracţie a lui Einstein ia o formă deosebit de simplă cînd corpul care creează cîmpul gravitaţional posedă o „simetrie sferică“. Acesta este aproximativ cazul realizat în natură de cîmpul solar.

În aceste condiţii, se poate postula dinainte, numai din considerente de simetrie, dacă nu expresia exactă, cel puţin forma intervalului spaţiu-timp dintre două puncte vecine. Legea gravitaţiei ia o formă simplă şi permite determinarea completă a metricii. Structura geometrică a spaţiu-timpului este în acest caz complet cunoscută, ca şi geodezicele acestui spaţiu-timp, deoarece ele se deduc complet din metrică.

Dacă un corp care are simetrie sferică creează un cîmp cu aceeaşi simetrie, el determină în vecinătatea sa un spaţiu-timp curb, a cărui structură se poate determina complet pornind de la caracteristicile corpului central (masa, viteza iniţială). Se pot astfel calcula *apriori*, pornind de la aceleaşi date, geodezicele acestui spaţiu, adică traiectoriile maselor (planetelor) introduse în el.

AVANSUL PERIHEILULUI PLANETEI MERCUR. Ecuaţiile diferenţiale ale traiectoriilor tuturor planetelor sînt ecuaţiile geodezicelor unui spaţiu cu simetrie sferică. Studiul lor permite prevederea anumitor perturbaţii, cum ar fi avansul periheliului lui Mercur.

Dacă r, θ, φ sînt coordonatele polare ale unei planete din acest spaţiu, se verifică:

1. Că mişcarea acestei planete se efectuează într-un plan (dacă $\theta = \pi/2$ în momentul iniţial, va păstra mereu această valoare).
2. Că variaţia lui φ satisface legea ariilor.
3. Că raza vectoare $r = 1/u$ verifică ecuaţia diferenţială

$$\frac{d^2u}{d\varphi^2} + u = \frac{Gm}{h^2} + 3\,\frac{Gmu^2}{c^2},$$

care diferă de cea rezultată din teoria newtoniană prin adăugarea ultimului termen din membrul al doilea.

Astfel, traiectoriile newtoniene diferă de cele pe care le prevede teoria lui Einstein printr-un termen mic, care reprezintă un avans $\delta\omega$ al periheliului elipsei. Acest avans este cu atît mai mare cu cît planeta are o excentricitate mai mare.

Acesta este cazul planetei Mercur ($a = 5{,}8 \cdot 10^{12}$ cm; $e = 0{,}2056$; $T = 87{,}97$ zile). Calculul conduce la un avans secular al periheliului de 42,9″, care coincide perfect cu datele observaţiilor.

DEVIAŢIA RADIAŢIILOR LUMINOASE ÎNTR-UN CÎMP GRAVITAŢIONAL. Ipoteza unei simetrii sferice depinde doar de forma corpului central care creează cîmpul. Geodezicele astfel prevăzute sînt independente de corpul de probă care le va parcurge. În particular se poate presupune că o radiaţie luminoasă va parcurge astfel de geodezice.

Totuşi, pentru particulele de masă nulă (fotoni), geodezicele trebuie să aibă o lungime (în spaţiu-timp) nulă. Această condiţie ($ds = 0$) reduce ecuaţiile geodezicelor descrise de radiaţiile luminoase, la expresia $\frac{d^2u}{d\varphi^2} + u = 3\,\frac{Gmu^2}{c^2}$, ecuaţiile newtoniene fiind în acest caz lipsite de cel de-al doilea membru. Rezolvarea acestor ecuaţii arată că traiectoriile ce rezultă din relativitatea generală prezintă, în vecinătatea corpurilor grele şi raportat la dreapta-soluţie a cazului newtonian, o deviaţie egală cu $4Gm/(c^2R)$, unde R este distanţa minimă ce separă corpul central de traiectoria fotonilor.

Pentru a verifica această previziune cu totul nouă a unei deviaţii a radiaţiilor luminoase, este necesar să luăm în considerare radiaţiile care trec prin apropierea unui cîmp gravitaţional suficient de intens, ca Soarele de exemplu. Aceste radiaţii provin de la stele care pentru noi se situează în vecinătatea aparentă a Soarelui; din acest motiv, aceste stele nu pot fi observate decît în momentul eclipselor, cînd strălucirea Soarelui, puternic slăbită, permite observarea vecinătăţii sale aparente.

În aceste condiţii, se poate observa o deviaţie a radiaţiilor luminoase ce trec prin apropierea Soarelui şi, în consecinţă, o deplasare aparentă, pe sfera cerească, a stelelor de la care provin. Rezultă că o stea, ecranată normal de Soare (în ipoteza unei propagări rectilinii a radiaţiilor ce provin de la această stea), poate deveni vizibilă datorită curbării radiaţiilor luminoase.

Deviaţiile observate în timpul eclipsei de Soare din 1910 se refereau la constelaţia Hyadelor, situată atunci în vecinătatea aparentă a Soarelui. Rezultatele obţinute au concordat cu cele prevăzute de teoria lui Einstein, deşi deviaţiile teoretice ($\alpha = 1{,}75''$) erau la limita erorilor experimentale. Eddington a găsit, într-adevăr, o deviaţie de $1{,}69 \pm 0{,}50''$. Alte măsurători (Campbell şi Trumpler, la Khartum, 1952) au găsit rezultate similare.

Cu toată imprecizia acestor măsurători, deviaţia radiaţiilor luminoase a constituit primul efect nou pe care îl prevedea o teorie bazată pe o remaniere totală a noţiunilor noastre despre spaţiu şi timp.

Era de aşteptat ca rezultatele expediţiei lui Eddington, această intrare într-o cosmologie nouă, să provoace emoţie la sesiunea din 6 noiembrie 1919 a lui *Royal Society*, pe care Whitehead o descrie în cuvinte care nu sînt lipsite de măreţie:

„Atmosfera de intensă atenţie era exact ca în drama greacă, scria el. Noi formam corul care comenta hotărîrile destinului, aşa cum erau ele dezvăluite de mersul evenimentului suprem. Exista o valoare dramatică în ceremonialul foarte scenic şi foarte tradiţional în care portretul lui Newton pe fundal ne amintea că cea mai mare dintre generalizările ştiinţei primea, după mai mult de două secole, prima sa lovitură. Nici un interes personal nu se afla în joc; totul constituia o mare aventură a spiritului, care reuşea, din fericire, să ajungă la un ţărm".

DEPLASAREA SPRE ROŞU A LINIILOR SPECTRALE ÎNTR-UN CÎMP GRAVITAŢIONAL. Fenomenul deplasării poate fi enunţat, într-un mod foarte general, astfel:

„într-un cîmp de viteze sau într-un cîmp gravitațional are loc o variație a frecvenței radiațiilor emise de un atom excitat. Se observă în general o scădere a acestei frecvențe, adică o deplasare spre roșu“.

Variația frecvenței unei radiații luminoase de frecvență inițială ν_0, datorită mișcării relative, reprezintă efectul Doppler. Frecvența recepționată, $\nu = \nu_0 \sqrt{1-\beta^2} / (1-\beta\cos\theta)$, diferă de frecvența emisă. Această variație constă din suprapunerea unui efect pur relativist — întîrzierea ceasurilor (termenul în β^2) — peste un efect clasic (termenul în β). Pentru viteze radiale $(\theta = \pi)$ se obține, foarte aproximativ, $\Delta\nu = (\nu - \nu_0) / \nu_0 \simeq -\beta = -v/c$, adică o proporționalitate a deplasării cu viteza: $c\Delta\lambda/\lambda = v \left(\lambda = \frac{c}{v}\right)$.

Pe de altă parte, un cîmp gravitațional introduce și el o deplasare specifică. Dacă U_i și U_j reprezintă potențialele newtoniene în punctele S_i și S_j în care se găsesc sursa și observatorul, variația frecvenței este dată de $\Delta\nu/\nu = (\nu - \nu_0)\nu_0 = (\sqrt{(g_{00})_i}/\sqrt{(g_{00})_j}) - 1$, unde $(g_{00})_i = 1 - 2U_i/c^2$, $(g_{00})_j = 1 - 2U_j/c^2$, în conformitate cu concluziile relativității generale. Se presupune atunci că sursa și observatorul sînt în repaus relativ. Într-un mod foarte aproximativ, un cîmp gravitațional și, bineînțeles, și un cîmp de accelerație echivalent, vor antrena o „deplasare spre roșu“: $\Delta\nu/\nu \simeq \left(\frac{1}{c^2}\right)(U_j - U_i)$.

DOMENIUL EXTRAGALACTIC. Dacă se studiază frecvențele radiațiilor ce ne sosesc de la corpurile cosmice exterioare Galaxiei noastre, se constată, în toate cazurile, o deplasare spre roșu. Aceasta este proporțională cu distanța ce ne separă de acel corp (efectul Hubble):

$$\Delta\nu/\nu = -kD, \text{ adică } c\Delta\lambda/\lambda = ckD = HD = V.$$

Constanta H (constanta Hubble) are dimensiunile inversului timpului; HD are deci dimensiunile unei viteze V, ceea ce conduce la interpretarea efectului Hubble printr-o relație între viteză și distanță: aceasta va constitui obiectivul teoriilor cosmogonice. Îndepărtarea galaxiilor (dilatarea universului) produce un efect Doppler care este tocmai efectul Hubble.

Pe baza acestor principii, efectul Hubble poate fi asimilat cu un efect Doppler de ordinul întîi, ceea ce constă în compararea egalităților corespunzătoare. Deoarece cîmpurile gravitaționale locale au, la această scară, un rol neglijabil, deplasarea Hubble este în întregime de natură cinetică.

Teoriile cosmologice reușesc să prevadă valoarea corectă a deplasării Hubble. Totuși aceste verificări nu sînt decisive, datorită nesiguranțelor experimentale ale măsurătorilor (densitatea medie a materiei etc.). Justificările teoretice introduc, pe de altă parte, noțiuni ca distanță sau vîrstă a universului, care nu pot fi traduse simplu în limbaj experimental. Într-adevăr, la scară extragalactică nu mai este posibilă asimilarea simplă a spațiului curb cu spațiul euclidian tangent; acest lucru nu era posibil decît la scară locală (sistemul solar).

DOMENIUL SISTEMULUI SOLAR ȘI AL STELELOR APROPIATE. Au fost efectuate măsurători interesante ale deplasării frecvenței la atomii excitați care oscilează în Soare sau în stelele dense ale Galaxiei noastre.

Într-adevăr, pentru radiaţiile emise de aceşti atomi apar deplasări gravitaţionale datorate cîmpului intens la care sînt supuşi. Intervin însă şi deplasări produse de efecte Doppler clasice, adică de mişcări relative ale acestor surse faţă de observatorul terestru. Aceste efecte parazite sînt considerabile şi trebuie eliminate prin calcul din rezultatele brute: ceea ce rămîne reprezintă deplasarea specific gravitaţională, care poate fi astfel comparată cu valoarea teoretică prevăzută de teoria lui Einstein.

În cazul Soarelui, $U_i = GM_0/R_0$, U_j este neglijabil, deci $\Delta\nu/\nu = 2{,}10\cdot10^{-6}$; rezultă o valoare teoretică a lui $c\Delta\lambda/\lambda = 0{,}6$ km/s. Măsurătorile efectuate de Miss Adam (1948) arată o bună concordanţă cu aceste previziuni, cu condiţia să ne limităm la vecinătatea Soarelui, în care vitezele radiale sînt aproape nule şi în care efectele Doppler parazite rămîn neglijabile. Acestea dau valoarea $c\Delta\lambda/\lambda = 0{,}64$ km/s.

Măsurătorile realizate asupra stelelor cu densităţi foarte mari au dovedit, de asemenea, o bună concordanţă cu teoria. Măsurătorile lui Popper asupra stelei 40 Eri B (1954) sau cele ale lui Kuiper asupra lui Sirius B, o stea pitică albă, cu masa egală cu cea a Soarelui dar cu raza de 0,008 din cea a Soarelui, au furnizat, în primul caz, valori teoretice şi experimentale ale lui $c\Delta\lambda/\lambda$ egale cu (17 ± 3) km/s şi, respectiv, (21 ± 4) km/s; iar în al doilea caz, 79 km/s, respectiv 60—80 km/s. Ordinul de mărime este în acord cu previziunile teoretice, dar necesită precizii mai bune. De aici rezultă interesul manifestat faţă de unele măsurători realizate cu surse pur terestre.

MĂSURĂTORILE DE DEPLASĂRI ÎN DOMENIUL TERESTRU. Folosirea materialului terestru, în experienţele de deplasare a frecvenţei, permite eliminarea sau controlul efectelor Doppler parazite. În acest caz devine posibilă măsurarea exactă a efectelor unui cîmp gravitaţional local asupra deplasării.

Astfel de măsurători nu au putut fi efectuate decît foarte recent (1959), deoarece se refereau la efecte prea mici pentru a putea fi detectate cu sursele disponibile mai înainte.

Dacă sursa S_i se găseşte la o înălţime H, iar observatorul S_j se găseşte la sol, potenţialele gravitaţionale ce intervin sînt $U_j = GM/R$ şi $U_i = GM/(R+H)$, unde M şi R sînt masa şi raza Pămîntului. Deplasarea pur gravitaţională va fi deci:

$$\Delta\nu/\nu = (GM/c^2)\,[(1/R) - (1/R + H) \simeq (GMH)/(c^2R^2) = gH/c^2,$$

unde $g = GM/R^2$ este acceleraţia gravitaţională la sol.

Deplasarea ce trebuie măsurată este deci, în metri, $\Delta\nu/\nu = 1{,}09\cdot10^{-16}H$. O diferenţă de nivel de 10 m ar corespunde deci la o deplasare extrem de mică.

Pentru a pune în evidenţă deplasări de acest ordin de mărime, s-a făcut apel la surse foarte stabile (maseri) sau foarte fine (radiaţii de rezonanţă produse prin efect Mössbauer).

MASERII. Actualmente se pot construi ceasuri a căror frecvenţă este deosebit de constantă timp de mai multe ore.

Astfel sînt ceasurile cu cuarţ ($\Delta\nu/\nu = 10^{-9}$ timp de 24 de ore), ceasurile atomice cu cesiu ($\Delta\nu/\nu = 10^{-11}$ timp de 24 de ore), ceasurile moleculare cu amoniac ($\Delta\nu/\nu = 10^{-12}$ timp de o oră) (vezi p. 295).

Maserii folosesc frecvenţe optice şi mai ales radiofrecvenţe produse de tranziţiile electronilor de pe un nivel energetic E_m pe un alt nivel de energie mai mică E_n[4]. Emisia unei radiaţii $\nu = (E_m - E_n)/h$ este însă însoţită de o dispersie $\Delta\nu/\nu$ care nu permite detectarea directă a efectelor foarte mici ale deplasărilor gravitaţionale.

O perfecţionare a maserilor ar putea îmbunătăţi valoarea lui $\Delta\nu/\nu$, dar în acest domeniu este dificilă evitarea influenţei efectelor Doppler parazite între atomi excitaţi, care dau radiaţiei emise o dispersie reală $\delta\nu$ foarte importantă.

S-a preconizat fie folosirea maserilor în sateliţi artificiali, ceea ce ar mări diferenţa de nivel H cu mai multe ordine de mărime, mărind în consecinţă şi efectul gravitaţional măsurat, fie accentuarea efectelor cu ajutorul unor amplificatori potriviţi. Dificultăţile tehnice ale acestor metode sînt evidente, dar nu sînt de netrecut.

EFECTUL MÖSSBAUER. În loc să folosim spectrele optice sau ale radiofrecvenţelor pentru detectarea deplasării gravitaţionale, se poate apela la spectrele de emisie şi de absorbţie ale radiaţiilor gamma emise de nucleele excitate.

Pînă în 1958 în acest domeniu exista o dificultate analoagă celei care se manifestă în sistemele optice; lărgimea naturală a unei linii, $\Gamma = h(\Delta\nu)I_0$, este legată de dispersia $\Delta\nu$ pentru o intensitate egală cu jumătate din intensitatea maximă I_0. Ea este ascunsă de o lărgime reală mult mai mare (datorită efectelor Doppler între nucleele excitate) şi este deplasată pe scara energiilor. Această deplasare este provocată de reculul nucleului emiţător: dacă acesta are o energie de excitare E_0, el eliberează doar o energie $E_0 - R$, restul de energie R fiind utilizat pentru recul. În cazul absorbţiei, el ar trebui să cîştige energia $E_0 + R$. Între emisia şi absorbţia radiaţiilor în nucleu apare deci un deficit de energie egal cu $2R$, iar acest deficit interzice în principiu orice fenomen de emisie sau de absorbţie a radiaţiei prin rezonanţă. (În cazul unui fenomen de rezonanţă, energia absorbită E_0 trebuie să fie riguros egală cu energia emisă.)

R. L. Mössbauer a arătat în 1958 că astfel de fenomene de rezonanţă ar putea fi totuşi observate în cazul radiaţiilor γ emise sau absorbite de reţelele cristaline menţinute la temperatură foarte joasă (a azotului lichid). În acest caz, nucleul excitat este solidar cu întreg cristalul şi totul se întîmplă ca şi cum energia de recul ar reveni întregului cristal.

Prin rezonanţă se pot deci produce radiaţii γ extrem de fine, care pot fi folosite la detectarea deplasării gravitaţionale. În cazul experienţelor lui Mössbauer, efectuate asupra iridiului-191 obţinut prin dezintegrarea β a osmiului-191 ($E = 129$ keV, $\Gamma = 6 \cdot 10^{-6}$ eV),

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{h\Delta\nu}{h\nu} = \frac{\Gamma}{E} = \frac{6 \cdot 10^{-6}}{1{,}29 \cdot 10^{3}} \approx 10^{-11}.$$

S-ar putea obţine chiar 10^{-16}, prin folosirea radiaţiei de rezonanţă emise şi absorbite de ^{67}Zn.

Aplicarea efectului Mössbauer la măsurarea deplasării gravitaţionale s-a efectuat în Statele Unite, în Marea Britanie şi în U.R.S.S.

---

[4] În legătură cu această problemă vezi şi studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 296—298).

Pînă acum, rezultatele cele mai convingătoare s-au obţinut prin folosirea unei surse şi a unui observator separaţi printr-o diferenţă de nivel de aproximativ 22 m (R.V. Pound şi G.B. Rebka, 1960). Deplasarea gravitaţională teoretică era în acest caz $\Delta\nu/\nu = -1{,}09 \cdot 10^{-16} \times 22 \approx -5 \cdot 10^{-15}$. Deplasarea măsurată prin folosirea radiaţiei γ emise de o sursă de ^{57}Fe (obţinută prin dezintegrarea β a ^{57}Co), situată la o înălţime de 22 m, şi a unui receptor de aceeaşi natură (nuclee de ^{57}Fe absorbante), situat la sol, a fost, după 10 zile de măsurători, $\Delta\nu/\nu = (-5{,}13 \pm 0{,}51) \cdot 10^{-15}$. Această măsurătoare foarte precisă este deci în bună concordanţă cu previziunile teoriei lui Einstein.

Trebuie adăugat că efectul Mössbauer poate fi aplicat şi la evaluarea deplasărilor produse de o mişcare accelerată, cum ar fi de exemplu rotaţia unui disc. El ar putea fi folosit în acest caz ca un fel de verificare a principiului de echivalenţă.

În sfîrşit, nu este exclusă nici posibilitatea măsurării, prin această metodă, a vitezei luminii pe o traiectorie simplă, într-o singură direcţie, într-un sistem de referinţă aflat în mişcare. S-ar ajunge astfel, pe căi noi, la vechile preocupări asupra vîntului de eter. De fapt, pînă acum, orice măsurare a vitezei luminii se efectua obligatoriu pe un parcurs dus-întors. Se poate considera deci că principiul relativităţii restrînse şi principiul echivalenţei, care joacă roluri aproximativ analoage în cazul mişcărilor uniforme şi al mişcărilor accelerate, ar putea fi, o dată mai mult, confruntate cu experienţe noi.

Rezultate din experienţă şi conducînd la experienţă, relativitatea restrînsă şi relativitatea generală reprezintă astfel cea mai minunată şi cea mai fecundă aventură a gîndirii pe care fizica a încercat-o în cursul acestui secol[5].

TEORII UNITARE ŞI TEORII NEDUALISTE. Punînd bazele relativităţii generale, Einstein a situat gravitaţia pe un piedestal geometric, ceea ce izolează profund această teorie de alte teorii fizice. De la Kepler încoace, s-a încercat însă adesea să se apropie teoriile gravitaţiei de teoriile luminii, ambele fiind fenomene ce se propagă aproape instantaneu. Legile lui Newton şi Coulomb păreau să consacre, de asemenea, pentru ambele fenomene de acţiune la distanţă, un acelaşi proces de tip $1/r^2$. Legea lui Poisson le reducea simultan la un formalism de acţiune prin contact.

După 1917 s-a încercat deci să se extindă şi la electromagnetism procesul de geometrizare pe care Einstein l-a aplicat cu atîta succes fenomenelor gravitaţionale. Din nefericire, restricţiile impuse curburii unui spaţiu Riemann permit doar interpretarea acţiunilor gravitaţionale.

Pentru a îngloba şi electromagnetismul şi gravitaţia într-un cadru geometric comun, a fost necesară lărgirea acestui cadru: fie prin dotarea spaţiului Riemann cu un număr mai mare de dimensiuni — în care scop s-au construit teorii riemanniene penta şi hexadimensionale, în care dimensiunile suplimentare permit interpretarea unui cîmp maxwellian, fie prin păstrarea spaţiului cvadridimensional, dar cu complicarea structurii sale — ceea ce conduce la spaţii neriemanniene înzestrate cu două tipuri de curburi şi, eventual, chiar şi o torsiune.

---

[5] Trebuie menţionat că în ultimii 5 ani se vorbeşte şi de un al patrulea test al teoriei relativităţii generale. Acesta a fost descoperit de prof. Erwin Shapiro din S.U.A. şi constă în întîrzierea ajungerii la destinaţie a unei raze de lumină cînd în apropierea traiectoriei ei se află corpuri materiale cu mase apreciabile. Şi acest test a fost verificat cu o mare precizie (~ 1%). — *N.I.-P.*

Aceste încercări foarte interesante rămîn, din nefericire, destul de formale, în sensul că nu pot prevedea efecte noi remarcabile, capabile să confirme sau să infirme premisele lor. Ele au totuşi o valoare de sinteză de netăgăduit, dar necesită confirmări experimentale efective pentru a putea conduce la discuţii folositoare.

Aceste teorii „unitare“ încearcă să grupeze electromagnetismul şi gravitatea sub acoperişul geometriei. Trebuie deosebită deci cu grijă această sinteză de teoriile „nedualiste“, care încearcă să realizeze o unificare a cîmpului cu sursele sale.

Istoricul legăturii dintre cîmp şi sursele sale materiale este departe de a fi găsit pînă acum o rezolvare satisfăcătoare; deseori s-a considerat că acest cîmp (cîmpul gravitaţional, cîmpul electromagnetic) ar fi prin natura sa cu totul străin de sursele sale (electronii). Dacă se atribuie acestora rolul de singularităţi punctuale, apar dificultăţile energiei proprii infinite. Acestea mai apar încă în majoritatea teoriilor contemporane, clasice sau cuantice.

În faţa acestor dificultăţi s-a admis, încă din vremea lui Lorentz, următoarea alternativă: sursele şi cîmpul au aceeaşi natură; sursele extinse reprezintă regiuni în care cîmpul este deosebit de intens; teoretic, ele se extind pînă la infinit. Susţinute de Lorentz şi, într-un sens foarte diferit, de către Mie, Born şi Infeld, aceste concepţii au fost reluate de Einstein în ultima sa încercare unitară, care se dovedeşte astfel o teorie nedualistă.

Cu alte cuvinte, Einstein a fost totdeauna şocat de deosebirea dintre cei doi membri ai ecuaţiilor cîmpului gravitaţional. Primul (din „marmură pură“) reprezintă un aport pur geometric; cel de-al doilea („material grosolan“) este de origine fenomenologică. Astfel, în 1954, Einstein avea să presupună că toate cîmpurile (şi în special cîmpul electromagnetic şi cîmpul gravitaţional), ca şi toate contribuţiile materiale (diferitele particule), trebuie să fie reprezentate prin intermediul unor date geometrice.

Legile cîmpului vor constitui o condiţie impusă acestor date. Din acestea ar trebui extrase, prin analize critice, contribuţiile a ceea ce numim în mod obişnuit gravitaţie, electromagnetism, surse naturale; ar trebui, de asemenea, ca această lege unică să permită regăsirea caracteristicilor (masele, sarcinile, spinii, stranietatea) acestor diverse particule care apar în experienţele la energii înalte.

Fără îndoială că această încercare nu reprezintă încă decît un program, sau mai degrabă o speranţă. Ar fi chiar prezumţios să credem că o condiţie de structură geometrică ne va furniza într-o zi esenţialul legilor structurii materiei şi energiei. Totuşi, ultima teorie a lui Einstein reprezintă un testament spiritual căruia nu-i lipsesc nici măreţia, nici credinţa în viitorul fizicii relativiste.

CAPITOLUL III
Mecanica generală

Începutul secolului nostru a reprezentat pentru mecanica clasică o cotitură dificilă[1]. Starea de perfecţiune la care fusese adusă prin lucrările marilor geometri de la Lagrange la Jacobi, şi care părea să-i dea aspectul unei ştiinţe mature, demnă de a servi drept model altor ramuri ale fizicii matematice, a fost tulburată la sfîrşitul secolului al XIX-lea de discuţii aprinse asupra principiilor ei, discuţii de natură să zguduie întregul ei edificiu. După cum am văzut în volumul precedent, mecanicienii[2] erau divizaţi, în ceea ce priveşte alegerea noţiunilor primordiale, între şcoala adepţilor masei şi cea a adepţilor forţei, în timp ce energetica — care condamna orice model şi orice ipoteză moleculară şi care respingea orice explicaţie mecanicistă care ar fi redus proprietăţile fizice la simple combinaţii de figuri şi de mişcări — extindea asupra întregii fizici o dominaţie contagioasă. În autobiografia sa ştiinţifică, Einstein atribuie criticii ascuţite a principiilor newtoniene, efectuată de E. Mach, meritul de a fi zguduit dogmatismul mecanicii clasice şi recunoaşte că s-a inspirat din această critică. Cele două revoluţii ştiinţifice, din 1905 (relativitatea restrînsă) şi din 1923 (mecanica ondulatorie) depăşesc totuşi atît de mult discuţiile asupra principiilor clasice, încît pot fi considerate mai degrabă ca o ceartă în familie — într-o familie cam înapoiată în modul de apărare pătimaşă a unui patrimoniu compromis. Iar problema ce se pune istoricului este de a şti dacă din mecanica la scara noastră mai rămîne şi altceva decît un obiect de studiu elementar, şi dacă se poate prevedea vreun viitor pentru o disciplină supusă presiunii unor transformări stringente.

POINCARÉ ŞI MECANICA LA SCARĂ UMANĂ. După cum se ştie, lui Poincaré îi revine un loc aparte în critica organizării tradiţionale a mecanicii clasice. Savantul francez a ştiut, mai bine decît oricine, să caracterizeze fisurile, chiar contradicţiile acestui minunat edificiu: conceperea numai a mişcărilor relative şi situarea lor într-un spaţiu absolut, adoptarea unui timp absolut, care nu reprezintă decît pură convenţie, postularea unor principii ca cel al inerţiei pe care nimic nu le justifică *apriori* şi care, mai mult, nu pot traduce fapte experimentale. Independent de Einstein, Poincaré s-a văzut obligat să abandoneze principiul relativităţii din mecanica clasică în favoarea unui *postulat al relativităţii*, mai radical şi mai general în acelaşi timp[3]. El şi-a ilustrat astfel propria sa filozofie asupra legilor şi principiilor: dacă nici una dintre aceste baze nu poate fi considerată arbitrară — datorită străvechilor origini experimentale şi în pofida caracterului convenţional pe care îl impune cristalizarea unei elaborări raţionale — nici una nu poate fi considerată neatacabilă. Dar fiind mai conştient de sacrificiile pe care noul punct de vedere le impunea, Poincaré nu a avut îndrăzneala tinerească a lui Einstein şi a accentuat explicit că mecanica clasică trebuie să rămînă cea a vieţii practice şi a tehnicii noastre terestre.

---

[1] Acest capitol datorează mult studiului lui René Dugas (mort în 1957): *Sur l'évolution de la mécanique à notre échelle* (Revue philosophique, iulie-septembrie, 1956).

[2] Vom folosi termenul de mecanicieni pentru toţi cei ce se ocupă cu studiul mecanicii, pentru a evita confuzia cu termenii de mecanicişti sau mecanici, care au sensuri diferite (N.T.).

În evocarea noţiunii de scară, această afirmaţie pare simplă. Datorită lipsei de fineţe a simţurilor noastre, la scară umană fenomenele mecanice par a se acomoda normal cu o teorie care nu ţine seama de structura materiei şi care foloseşte matematica continuului, iar dimensiunile medii ale domeniului la care se extind fenomenele considerate acreditează ideea că scandalul timpului relativ şi al legăturii spaţiu-timp în cazul schimbării sistemelor de referinţă are puţine şanse de a găsi vreo ocazie de manifestare.

Nu este exclus totuşi ca, la alte scări, unele teorii care au recurs la modele diferite să poată aborda aceleaşi fenomene. Refacerile teoriei turbioanelor carteziene, create pentru a explica datele cantitative ale fizicii matematice a lui Newton şi a combate mecanica macroscopică a acţiunilor la distanţă prin mari spaţii vide, au continuat pînă la mijlocul secolului al XVIII-lea. În secolul al XIX-lea, teoria elasticităţii şi teoria cinetică a gazelor s-au desprins cu greu de ipotezele moleculare, care la origine au constituit un mijloc fecund de cercetare. Se pare deci că, în cazul unor fenomene determinate şi la o scară dată, e dificil să decidem dacă este suficientă o singură teorie la scara respectivă, iar istoria ştiinţei nu favorizează în nici un caz o astfel de părere exclusivistă.

Fără îndoială deci că afirmaţia lui Poincaré trebuie înţeleasă într-un sens mai subtil. Şi anume, că punerea în discuţie a relativităţii clasice se situează de fapt într-o schimbare de scară, şi că deci ar fi surprinzător în aceste condiţii ca mecanica clasică, după două secole de succese, să-şi fi spus ultimul cuvînt pentru fenomenele la scara noastră. Rămîne de văzut totuşi care este realitatea.

DEZVOLTAREA DINAMICII CLASICE. Analiza clasică a lui Lagrange atrăsese deja atenţia asupra dificultăţii esenţiale: aceea a legăturii mecanice. Tocmai în această direcţie au fost realizate progrese considerabile în epoca noastră. Datorită noţiunii de „energie de accelerare", P. Appell a găsit mijlocul de a trata în acelaşi mod atît legăturile olonome cît şi pe cele neolonome. Într-o teză dedicată studiului compasului giroscopic, H. Béghin a introdus *legăturile de reglaj*, realizate în fiecare moment prin intrarea în joc automată a unor surse auxiliare de energie şi care se deosebesc esenţial de legăturile de simplu contact. În limbajul teoriei clasice, acestor legături de reglaj, care pot fi olonome sau neolonome, le corespund forţe al căror lucru nu este nul, în general, în cazul unei deplasări virtuale a sistemului. Mecanicienii s-au obişnuit astfel să elimine legăturile, considerate la origine ca imperfecte, şi să lărgească formalismul tradiţional al dinamicii. Amortizarea oscilaţiilor naturale ale unui sistem a putut fi considerată, prin prisma acestor vederi, ca o reprezentare formală, prin legături, care a condus la aplicaţii practice datorită metodelor moderne de legături fără contact.

---

[3] Vezi studiul d-nei A.-M. Tonnelat (pp. 157—160).

Dar formalismul tradiţional al dinamicii s-a dovedit în alt sens capabil de o generalizare mai radicală. În lucrarea *Leçons sur les invariants intégraux* (1922), Élie Cartan a arătat că toate proprietăţile ecuaţiilor dinamicii sistemelor olonome derivă din existenţa unei forme diferenţiale exterioare de gradul unu, care nu există decît dacă forţele aplicate sistemului depind de o funcţie de forţe. Recent, această condiţie a putut fi depăşită pentru a se ajunge la enunţuri mai generale.

F. Gallissot a stabilit în 1954 că ecuaţiile mişcării unui punct material, invariante la transformările grupului galileian, sînt generate de o formă diferenţială exterioară de gradul doi, definită pe o varietate V_7, care reprezintă produsul topologic al spaţiului V_6, tangent la spaţiul euclidian cu dreapta numerică de timp, fără a necesita existenţa unei funcţii de forţe. Mai general, orice sistem cu n grade de libertate, format din puncte materiale şi din solide libere, este caracterizat printr-o formă diferenţială exterioară de gradul doi, definită pe o varietate V_{2n+1}. În această nouă formulare a mecanicii, o legătură este caracterizată, pe de o parte, printr-o subvarietate a lui V_{2n+1}, iar pe de alta, printr-un joc al forţelor, destinat realizării legăturii şi care se traduce printr-un *cîmp de legătură* definit în spaţiul tangent la V_{2n+1}. Acest mod de a lucra înglobează odată cu legăturile clasice (olonome sau nu) şi sistemele de reglaj şi alte legături mai generale.

Totuşi, cazul legăturilor capabile să se rupă continuă să ridice probleme delicate.

Jocul semnelor impus *apriori* legăturilor sau acceleraţiilor nu este de fapt totdeauna suficient (afară de cazul legăturilor olonome sau liniar neolonome) pentru a determina într-un mod univoc mişcarea ulterioară a sistemului. Astfel pot apărea paradoxuri sau nedeterminări, pentru care cazurile semnalate de P. Painlevé în 1895, în problema frecării fără alunecare, nu reprezintă decît exemple particulare. Teoria ciocnirii cu frecare (Darboux, Delassus, Pérès şi Béghin)a permis rezolvarea unora dintre paradoxurile amintite (ciocnirile tangenţiale), dar au rămas suficient de multe paradoxuri nerezolvate pentru ca mecanicienii să continue să-şi pună întrebări privitoare la bazele ştiinţei lor. Fără îndoială, s-a crezut că se poate considera că acele cazuri ireductibile corespund unor fenomene în care pare imposibilă neglijarea deformărilor infinit mici, tocmai cele de care legile legăturilor clasice nu ţin seama; în consecinţă, chiar dacă aceste perspective sînt corecte, nu se ştie încă în ce mod ar putea aceste legi să schimbe în vreun fel scara fără a înceta să mai corespundă unei structuri caracteristice.

În timp ce dezvoltarea dinamicii clasice ajungea astfel la o limitare semnificativă, se obţineau succese deloc neglijabile în studiul vibraţiilor, atît de importante în cele mai diverse ramuri ale tehnicii. Legătura prin analogie între vibraţiile electrice şi cele mecanice, folosirea metodelor de aproximare pentru rezolvarea ecuaţiilor diferenţiale nelineare, au permis dovedirea faptului că analiza matematică şi-a menţinut o putere fecundă în mecanica la scara umană.

MECANICA MEDIILOR CONTINUE. Acest termen are o rezonanţă arhaică deşi continuă să fie folosit, cu avantajul de a cuprinde, pe înţelesul tuturor, un domeniu vast şi în care cercetările din epoca noastră au fost deosebit de importante. În mecanica fluidelor, moştenirea trecutului lăsa multe probleme de rezolvat, în special în cazul dificilei probleme a rezistenţei. Painlevé a observat că paradoxul lui d'Alembert (rezistenţă nulă faţă de un obstacol solid în translaţie rectilinie şi uniformă într-un fluid necompresibil, perfect, în repaus la infinit) este un paradox de reversibilitate. Nici o teorie reversibilă nu poate explica rezistenţa. „Siajurile latente" ale lui Kirchhoff-Helmholtz, care furnizaseră în secolul al XIX-lea un model posibil de supapă, au iniţiat un vast studiu matematic (Levi-Civitá, Villat, Lavrentiev) care a lăsat neexplicate mai mult de jumătate dintre rezistenţele constatate experimental. În realitate, aceste siajuri sînt instabile în absenţa viscozităţii şi se pot descompune în zone turbulente. Pe de altă parte, rămîne posibilă şi o nedeterminare în privinţa punctului în care siajul se desprinde, iar pentru anumite forme de profil există o infinitate de siajuri posibile. Progrese noi în această direcţie s-au obţinut numai prin integrarea hotărîtă a turbulenţei în teorie.

Teoria lui N.E. Jukovski şi S.A. Ceaplîghin (1906—1921) a permis, datorită noţiunii de circulaţie (turbion legat de profil), să se obţină o aproximaţie destul de bună a portanţei profilurilor de aripă în aerodinamică. Dar tot ea a condus, în cazul unui profil rectiliniu înclinat pe un curent fluid orizontal, la un nou pseudoparadox (Cisotti), care a atras atenţia asupra precauţiilor ce trebuie luate în cazul trecerilor la limită cerute de schematizarea aripei subţiri.

Folosind metoda matematică a funcţiilor de variabilă complexă, teoria lui Jukovski nu se aplica decît la mişcări plane. Pornind de la formulele lui Poincaré, care furnizează vitezele din cunoaşterea turbioanelor, prin considerarea suprafeţei unor obstacole solide în mişcare drept un strat de turbioane, iar obstacolul însuşi drept un nucleu fluid la presiune constantă, M. Roy a putut generaliza, în 1925, teorema lui Jukovski pentru obstacole solide în mişcare elicoidală uniformă într-un curent infinit şi staţionar de fluid necompresibil perfect.

Abordînd problema în cazul tridimensional, folosind o noţiune a lui Lanchester (1909) şi adoptînd o schemă determinată pentru stratul de turbioane libere ce scapă la bordul de fugă al unui profil de aripă de dimensiuni finite, Prandtl (1918) a pus bazele teoriei *aripei portante* în care, alături de *portantă* analoagă celei a lui Jukovski, se introduce efectiv şi o rezistenţă datorită existenţei vitezelor induse de turbioanele libere. Încă din 1903, dar în altă ordine de idei, acelaşi autor a prezentat o teorie care a condus la numeroase cercetări, dovedindu-se fecundă: un fluid natural, de mică viscozitate, se comportă aproximativ la fel cu un fluid perfect care se scurge la distanţe mici de un obstacol, în timp ce într-o pătură foarte subţire ce înconjură obstacolul, numită *pătură limită*, se exercită eforturi tangenţiale importante, însoţite de degajare de energie şi formare de turbioane. Astfel se explică apariţia unei rezistenţe, numită de frecare, în timp ce fluidul perfect încetează să mai fie o ficţiune, cu excepţia vecinătăţii imediate a obstacolului. În pătura limită însăşi, mişcarea poate fi laminară sau turbulentă.

Acestea sînt, schematic, cîteva dintre exemplele de mijloace subtile la care a fost necesar să se recurgă pentru a evita paradoxul lui d'Alembert, dar fără un succes deplin. G. Birkhoff (1950) enumeră vreo 15 paradoxuri noi apărute în mecanica fluidelor din tratarea raţională a viscozităţii. Faptul că mecanica fluidelor a întîlnit atîtea dificultăţi, atîtea dezacorduri cu bunul simţ comun, cu logica sau cu experienţa, nu pune în discuţie structura sa matematică; în acest caz se observă mai bine decît în cazul paradoxurilor dinamicii generale că schematizările succesive prin care trebuie să treacă orice încercare de raţionalizare reprezintă o dificultate de temut. A reuni şi a combina în acelaşi timp compresibilitatea, viscozitatea, conductibilitatea şi turbulenţa şi, odată cu ele, şi împrejurările care le favorizează — cum ar fi rugozitatea pereţilor solizi — trebuia să constituie desigur programul unei teorii a fluidelor reale. La o astfel de complexitate nu se putea ajunge decît treptat şi prin folosirea unor metode matematice din ce în ce mai perfecţionate. Odată cu introducerea turbulenţei, de exemplu, parametrii hidrodinamici (ca presiunea, densitatea, temperatura şi viteza) devin variabile aleatoare (A. N. Kolmogorov). Datorită cerinţelor de progres din aviaţie, a fost necesară dezvoltarea studiului sistematic al mişcărilor fluidelor compresibile şi al propagării discontinuităţilor sub forma undelor de acceleraţie sau de şoc, a căror analiză a fost instaurată de Riemann, Rankine şi Hugoniot. A fost necesar să se apeleze mai mult la termodinamică, datorită discontinuităţilor concomitente ale stării chimice şi, în particular, ale reacţiilor explozive al căror sediu îl poate constitui mediul atins de unda de şoc (Chapman, Vieille, Duhem, Jouguet şi Crussard).

Dar oricare ar fi perfecţionarea neîncetată a aparatului matematic folosit, care caracterizează înţelegerea aprofundată a unor noţiuni fizice pînă atunci neprecise, tehnica modernă pune probleme a căror complexitate este atît de mare chiar şi numai datorită considerării condiţiilor la limită, încît analiza teoretică devine dificilă şi este necesar să se recurgă la experienţe. Din aceste motive, în numeroase ţări, au fost înfiinţate institute de mecanică a fluidelor, în care cercetarea teoretică este îmbinată cu studiul *modelelor* în bazine pentru carene, în tuneluri aerodinamice, pe machete de lucrări hidraulice, sau cu ajutorul analogiilor electrice.

Nu am avea dreptate dacă am considera că toate aceste operaţii se efectuează fără alte dificultăţi decît cele tehnice. A compara între ele sisteme „similare" ridică probleme între care noţiunea de *dimensiune* a mărimilor fizice intervine pe primul plan. Pe baza unei teoreme stabilite de Vaschy în 1892, analiza dimensională a devenit o teorie riguroasă care determină aplicaţiile similitudinii. Mai mult chiar, în realitate nu se realizează decît o similitudine parţială. De exemplu, în modelele de rîuri, de canale, de porturi, efectele viscozităţii sînt mai mari decît în natură, iar turbulenţa mai mică, ceea ce obligă la corectarea lor artificială. Este de aceea cu atît mai remarcabil faptul că în ciuda acestor dificultăţi, cercetările teoretice continuă să se dezvolte şi să înregistreze succese, pentru care lucrările lui Pérès asupra presiunilor datorate clipocitului valurilor asupra unui baraj nu constituie decît un exemplu dintre multe altele.

Elasticitatea, o altă ramură a mecanicii mediilor continue, trăieşte încă în mare parte din moştenirea secolului al XIX-lea, chiar dacă metodele matematicii moderne (calculul tensorial) i-au transformat și ușurat expunerea și studiul. Necesitatea de a aborda sisteme în care temperatura nu este uniformă și probleme în care intervine comportarea calorică a mediului, au stabilit legături strînse cu termodinamica și au dezvoltat în elasticitate punctul de vedere energetic. Acest punct de vedere a fost urmat chiar și în elasticitatea izotermă — după cum dovedesc lucrările lui Timoșenko, asupra rezolvării prin aproximații succesive a numeroaselor probleme concrete ce nu pot fi rezolvate prin metode analitice simple. În sfîrșit, unele dezvoltări recente permit abordarea problemelor de elasticitate neliniară. Rămîne stabilit însă că, în limitele de valabilitate ale teoriei clasice, deformația unui solid elastic are loc reversibil și fără rezistențe pasive apreciabile, în timp ce unele fenomene bine cunoscute trebuie luate în considerare: histerezisul (revenirea la starea inițială cu cicluri de rezistențe pasive), ecruisajul (deformarea permanentă), fluajul (deformarea evoluînd în timp sub sarcină constantă). Teoriile noi, necesare din acest punct de vedere (plasticitatea, visco-elasticitatea, hipoelasticitatea) au început să fie mai bine fundamentate matematic.

De semnalat că la sfîrșitul secolului trecut s-a deschis un nou capitol, prin lucrările lui Boussinesq asupra echilibrului unui solid fără coeziune, limitat de o suprafață plană. Mecanica solurilor a condus la frumoase cercetări matematice (Résal, Caquot) și s-a dezvoltat în continuare prin lucrările lui von Terzaghi și Fröhlich asupra terenurilor permeabile.

Acest ultim aspect dintr-o istorie prea succintă arată că mecanica clasică este departe de a-și fi spus ultimul cuvînt. Unii vor gîndi poate că aceasta se datorește dialogului pe care mecanica l-a început cu experiența, mai mult practic decît canonic, și schimbării aspectului ei în urma acceptării existenței unor schematizări care o leagă de realitate. Ea a pierdut astfel în siguranța metafizică și în atracția filozofică ceea ce a cîștigat în eficacitate. Analizele ei sînt condamnate să se situeze la o scară intermediară, iar căile i-au devenit mai anevoioase și mai puțin seducătoare decît cele care au condus-o la înțelegerea primelor sale axiome. Fără îndoială, rămîne de văzut dacă un astfel de punct de vedere este perfect valabil.

CERCETĂRILE RECENTE ASUPRA AXIOMATIZĂRII MECANICII CLASICE. Problema acestei axiomatizări riguroase a fost pusă de Hilbert în 1900 și ea a obsedat de atunci pe numeroși matematicieni. A fost necesar să se ajungă la jumătatea secolului nostru pentru ca să fie propuse încercări valabile de rezolvare. Ele pot fi înțelese ușor acum datorită revoluției realizate chiar în structura matematică însăși.

Un efort remarcabil în această direcție (1955—1960) se datorește colectivului american condus de C. Truesdell și în special lui Walter Noll.

Conform acestui autor, mecanica este definită ca știința mișcărilor relative ale corpurilor continue sau discrete, sub acțiunea forțelor reciproce. Expresia „continue sau discrete" nu trebuie să inducă în eroare. *Corpul* din mecanica clasică este el însuși un mediu continuu, cuvîntul „discret" evocă doar o pluralitate posibilă de obiecte de studiu, cuvîntul „continuu" indică faptul că axiomele mecanicii trebuie să fie astfel stabilite încît mediile continue, în sensul vechi și general, să fie în mod natural și complet incluse. În ceea ce privește forţele, ca intermediare în înţelegerea mişcării, fiecare din sistemele lor se defineşte în general ca o funcţie cu valori vectoriale de două ansambluri, care satisface anumite condiţii de aditivitate. În acest caz, cele două axiome fundamentale ale mecanicii clasice sînt, pentru W. Noll, axiome de obiectivitate, adică de invarianţă în raport cu o schimbare de reper arbitrară. Cele două axiome nu se deosebesc decît prin obiectul aplicării lor.

Prima se referă la obiectivitatea proprietăţilor unui corp. W. Noll arată că ecuaţiile generale ale dinamicii (bilanţul acţiunilor şi momentelor) sînt consecinţe ale obiectivităţii lucrului forţelor. Dar se mai ştie că aceste ecuaţii generale nu sînt suficiente şi că ele trebuie completate cu anumite ecuaţii constitutive care definesc natura particulară a interacţiei dintre fiecare corp şi forţele lui interioare.

O astfel de ecuaţie este totdeauna de forma $T = \overset{t=0}{\underset{t=-\infty}{\mathcal{F}}} = [F]$, unde T este tensorul eforturilor, F gradientul deformării „punctului material", iar $\mathcal{F} =$ o funcţională. Ca „grup de izotropie" a unui material, se poate defini grupul de transformări ale punctelor materiale care lasă invariantă funcţionala $\mathcal{F}$. Acest grup de izotropie deosebeşte materialele: pentru un solid, acest grup este un subgrup al grupului ortogonal, în timp ce pentru un fluid, el este grupul cel mai mare posibil, adică cel unimodular. A doua axiomă a lui W. Noll afirmă obiectivitatea ecuaţiilor constitutive.

Inspiraţia relativităţii generale se manifestă aici vizibil, dar nu este vorba totuşi decît de o mecanică clasică, caracterizată net ca atare de structurile generale asupra cărora se exercită efortul de abstractizare (corpuri şi sisteme de forţe). În timp ce savanţii sovietici formulează rezerve şi preferă o altă cale pentru geometrizarea mecanicii, se recunoaşte în general că axiomele lui Noll îndeplinesc programul lui Hilbert, iar rapiditatea cu care acest rezultat a fost obţinut — datorită metodelor matematicii moderne — a fost recompensată cu mai mult decît o formulare inedită a ceea ce deja se ştia. În colaborare cu Coleman, W. Noll a putut să rezolve în toată generalitatea, pentru orice fluid incompresibil, problemele de viscometrie (curenţi Poiseuille şi Couette) şi să abordeze domeniile foarte noi ale viscozităţii neliniare sau teoria deformărilor finite. Fecunditatea gîndirii abstracte şi a elaborării raţionale este deci surprinzătoare[4].

CONCLUZII. Spre deosebire de ceea ce sugerau revoluţiile de la începutul secolului, mecanica de tip clasic nu constituie astăzi un domeniu epuizat. Destinul pe care i-l prevedea Poincaré s-a nuanţat din fericire, iar datorită unor interacţiuni din ce în ce mai numeroase cu alte domenii ale fizicii, ea nu s-a lăsat îngrădită în exploatarea vechiului său monopol şi nici nu a cunoscut noţiunea de scară medie ca o lege de bronz. Fără îndoială că mecanica a întîlnit mai multe paradoxuri decît a cunoscut vreodată. Dar aceasta i-a servit să-şi cunoască mai bine limitele, natura metodei sale, fără a pune în cauză esențialul. Fără îndoială că ea a devenit un șantier în care posibilitățile matematicii celei mai moderne se unesc cu cele ale numeroaselor metode experimentale de toate tipurile. Dar, din acest șantier încep să apară norme de gîndire și tipuri de calcul, în același timp suficient de generale pentru a îmbrățișa cît mai multe fenomene posibil și suficient de precise pentru a-i urma îndeaproape structura abstractă. Exemplul operei lui W. Noll exclude posibilitatea ca mecanica să fie o ramură a matematicii aplicate, plasată la remorca experienței.

---

[4] Este interesant de menţionat studiul de axiomatizare a mecanicii analitice, întreprins de acad. Octav Onicescu pornind de la forma diferenţială invariantă şi de la derivata exterioară a lui Elie Cartan. Se regăseşte astfel o serie de rezultate specifice mecanicii relativiste şi se elaborează o procedură foarte eficientă pentru tratarea problemelor de mecanică a punctelor materiale şi a mediilor continue. Un rezultat deosebit de relevant este obţinerea legii lui Hubble de expansiune a Universului ca o consecinţă a legilor mecanice de conservare. — *N.I.-P.*

Nimeni nu ar putea să afirme totuși că această mecanică ar fi pur și simplu „rațională" deoarece ar trebui să suplinească *aposteriori*, într-un mod mai mult sau mai puțin complet, defectele de sistematizare impuse *apriori*. Oricare ar fi datoria contractată față de marii deschizători de drumuri, epoca celor absoluți, de tip newtonian, a trecut, iar bazele nu mai sînt asigurate de o metafizică simplistă.

Dar, în noua sa elaborare axiomatică, profund influențată de relativitatea generală, această mecanică păstrează trăsăturile caracteristice ale mecanicii clasice. Ea lucrează asupra acelorași obiecte, cărora le sesizează structura cu mai multă precizie, ea urmează sugestiile experienței, proiectează asupra datelor experimentale lumina raționamentului matematic și extrage din această analiză metoda de perfecționare a noțiunilor abstracte. Această mecanică este *generală* și își găsește în mod natural locul în învățămîntul de bază, ca tranziție între propedeutică și studii mai specializate. Dar ea n-a încetat să se dezvolte și să constituie pentru celelalte ramuri ale fizicii o răspîntie și, în același timp, un model privilegiat.

CAPITOLUL IV
Fizica solidului

Mult timp corpul solid nu a constituit un obiect de interes pentru fizicieni, în afara unor cazuri excepţionale, ca de exemplu cel al cristalelor naturale studiate de mineralogi. În general, solidul era considerat corpul a cărui formă era insensibilă, sau foarte puţin sensibilă la solicitările exterioare, mecanice, termice etc.; iar ceea ce fizicienii, chimiştii şi inginerii de toate specialităţile îi cereau, era să le furnizeze structuri şi suporturi nealterabile. Se încerca empiric să se definească limitele ce nu trebuia depăşite pentru a evita ruperi sau deformări inadmisibile şi se căutau corpurile solide cu însuşiri optime, fie în domeniul metalelor, fie în cel al materialelor de construcţie.

Într-o a doua aproximaţie s-a recunoscut că această nedeformabilitate nu este riguroasă. Un solid se dilată sub efectul căldurii, iar dimensiunile sale exterioare variază cînd el este supus unei tracţiuni. Aceste mici deformări, numite elastice, sînt reversibile şi încetează în acelaşi timp cu solicitarea. *Teoria elasticităţii*, iniţiată de Hooke în 1670, a fost dezvoltată pentru solidele omogene, continue, izotrope, apoi şi anizotrope. Aspectele matematice ale acestei teorii au condus la interesante dezvoltări, fie în matematica pură prin calculul tensorial (vol. III, pp. 29, 30) fie în domeniul tehnic prin teoria rezistenţei materialelor, care a furnizat formulele empirice necesare pentru construirea maşinilor. Dezvoltările teoriei elasticităţii au continuat pînă în zilele noastre, dar fără schimbări fundamentale. Amintim totuşi, că J. Laval (1956) a obţinut rezultate cu totul noi, luînd în considerare nu solidul continuu, ci solidul format din atomi distincţi.

Un solid real nu este pur elastic decît pentru solicitări slabe. Peste o anumită limită, se observă deformări permanente care caracterizează *plasticitatea*, pentru care s-au încercat definiţii matematice pornind de la un mic număr de parametri şi de legi (Einstein, 1906; von Mises, 1913); studiul acestor schimbări de formă constituie *reologia*.

Originea dezvoltării a ceea ce se cunoaşte astăzi sub numele de *fizica solidului* a constituit-o descoperirea structurii atomice a corpurilor solide cu ajutorul difracţiei radiaţiilor X (von Laue, 1912). Cunoaşterea poziţiei atomilor în cristal şi caracterul regulat al acestei aranjări au condus la numeroase descoperiri teoretice. Într-adevăr, structura şi proprietăţile atomilor izolaţi se modifică prin apropierea lor şi prin periodicitatea poziţiei lor. A fost prevăzută existenţa unor noi proprietăţi care au fost supuse unor vaste studii experimentale. Aceste cercetări au permis perfecţionarea şi chiar crearea unor materiale noi, care, datorită posibilităţilor lor particulare de utilizare, au deschis calea unor numeroase aplicaţii tehnice, facilitînd, de exemplu, numeroase progrese recente în electronică. De aici provine interesul ce se dă fizicii solidului, care este una dintre ramurile cele mai active ale fizicii moderne. Predarea acestei discipline este răspîndită în toate marile universităţi, iar numărul cercetătorilor specializaţi în acest domeniu creşte constant. De peste un deceniu, numeroase reviste ştiinţifice internaţionale îi sînt în întregime consacrate, în timp ce vechile reviste de fizică continuă să-i acorde un mare spaţiu. Studiul prezent are ca obiect trecerea în revistă, pentru diferitele ramuri ale acestei tinere ştiinţe, a principalelor realizări teoretice şi a aplicaţiilor tehnice celor mai interesante[1].

STRUCTURA ATOMICĂ A SOLIDULUI. Descoperirea de către M. von Laue (1912) a difracţiei radiaţiilor X pe cristale a deschis calea unei noi ramuri a ştiinţei, studiul structurii atomice a corpurilor solide. Amintim că, după interpretarea dată de W.H. şi W.L. Bragg, planele reticulare ale cristalului reflectă un fascicul de radiaţii X de lungime de undă dată după un unghi de incidenţă, numit unghiul Bragg, a cărui măsurare permite determinarea distanţei dintre planele reticulare.

O primă consecinţă a acestui nou mijloc de cercetare a cristalelor a constituit-o modificarea clasificării solidelor, adoptată înaintea descoperirii lui Laue. În timp ce înainte se numeau cristale, solidele ale căror forme exterioare scoteau în evidenţă simetria şi anizotropia, astăzi se ştie că marea majoritate a solidelor, chiar şi cele cu aspect exterior amorf, sînt formate din aglomeraţii de mici cristale lipite unele de altele, fără o formă exterioară legată de structura lor. Corpul solid cristalizat este deci unic definit de structura sa atomică. Calcarul amorf nu se distinge de calcit decît prin ordinul de mărime al dimensiunilor cristalelor; la scară atomică, structurile acestor corpuri sînt identice.

Alături de aceste solide veritabile există şi solide cu adevărat amorfe, a căror structură a fost descoperită datorită radiaţiilor X: acestea sînt corpuri a căror structură atomică se apropie mult de cea a lichidelor, dar care au o viscozitate atît de mare, încît au o stabilitate a formelor exterioare apropiată de cea a solidelor reale. Tipul caracteristic de solid amorf este sticla. Marea diferenţă faţă de solidele adevărate este că atunci cînd temperatura creşte, există o trecere continuă de la starea solidă la starea lichidă, în timp ce solidul veritabil suferă o topire bruscă. Astfel, cunoaşterea structurii atomice a materiei a înlocuit cele trei stări tradiţionale ale materiei prin două stări fizic distincte: starea ordonată (solidul cristalizat) şi starea dezordonată (două forme condensate, solidul amorf şi lichidul, iar la o densitate mică — gazul).

---

[1] Diferitele aspecte ale acestui studiu sînt reluate în alte capitole cu amploare mai mare şi din perspective diferite. Studiul lui J. Orcel asupra structurii atomice a solidelor (pp. 474–479), al lui P. Marzin şi J. Le Mézec asupra proprietăţilor electrice ale solidelor (pp. 261–266, 291–294, 298–310, 318) şi al lui E. Bauer şi A. Herpin asupra magnetismului (pp. 239–254) se evidenţiază în mod deosebit.

Cristalul este format dintr-un grup de atomi care se repetă periodic prin translaţiile unei reţele geometrice tridimensionale. Cu alte cuvinte, cristalul este format prin suprapunerea unor celule identice, în formă de paralelipipede legate unele de celelalte. Natura geometrică a acestor paralelipipede stabileşte „clasa" cristalului, ca şi proprietăţile sale de simetrie. Scopul radiocristalografiei constă, pe de o parte, în determinarea naturii şi a dimensiunilor acestor celule, iar pe de alta, în stabilirea poziţiei atomilor în interiorul acestor celule elementare.

Prima problemă poate fi oricînd rezolvată dacă se dispune de un cristal izolat, chiar dacă el are dimensiuni foarte mici (cîteva sutimi de milimetru). Problema a doua este, dimpotrivă, dificilă şi nu există încă o soluţie generală şi imediată. Într-adevăr, W.L. Bragg (1926) a arătat că densitatea electronică în celula elementară poate fi descompusă într-o serie de unde sinusoidale de densitate, ale căror perioade sînt cele ale familiilor de plane reticulare şi ale căror amplitudini sînt proporţionale cu rădăcina pătrată a puterii de reflectare a planului reticular corespunzător. Dar pentru a reconstitui distribuţia electronică în celula elementară este necesară şi cunoaşterea fazelor relative ale acestor unde; acestea nu sînt însă furnizate de experienţă. Cercetările perseverente ale cristalografilor din ultimele cinci decenii au avut ca scop depăşirea acestei dificultăţi fundamentale referitoare la structuri din ce în ce mai complicate.

Din punct de vedere teoretic, progresele au fost constante. Prima metodă, numită încercare şi eroare (Bragg, 1920), consta în a imagina o structură posibilă pe baza datelor furnizate de radiaţiile X şi de orice alte metode fizice, în a calcula diagrama sa de difracţie (ceea ce este totdeauna posibil), în a o compara cu rezultatele experimentale şi, în sfîrşit, în a o perfecţiona treptat pentru a reduce diferenţa dintre intensităţile de difracţie calculate şi cele observate. Prima metodă puternică — şi care rămîne încă fundamentală — este cea a seriei lui Patterson (1928). Această metodă foloseşte doar datele experimentale şi anume intensităţile diferitelor reflexii; se obţine însă o funcţie complicată de structură şi numeroşi teoreticieni au încercat să deducă structura din „funcţia lui Patterson". În cazuri particulare, rezolvarea univocă este posibilă, ca de exemplu în cazul în care celula elementară conţine un singur atom greu printre atomi uşori; acest caz este interesant deoarece este cel al unui compus organic în care s-a reuşit să se introducă un atom metalic în moleculă. Recent, s-au făcut eforturi pentru a înţelege mai bine condiţiile de succes ale metodelor numite directe, de determinare a structurii, şi s-au realizat progrese remarcabile (Wilson, 1945; Karl şi Hauptmann, 1951; Bertaut, 1959 etc.).

În paralel, a fost perfecţionată treptat şi tehnica experimentală. Camera cu cristal rotitor (Bragg, 1920) a fost înlocuită cu camera lui Weissenberg (1928), apoi cu camera cu precesie (Buerger, 1941) şi cu „retigraful" (de Jong, 1958). Calculele extrem de laborioase sînt efectuate acum la maşini electronice, ceea ce a permis folosirea unor metode altădată nefolosibile. În sfîrşit, se pun la punct actualmente (Wooster, Gay, 1960) aparate de difracţie complet automatizate care acumulează toate datele experimentale disponibile pentru calculul structurii atomice fără intervenţia experimentatorului.

Aceste lucrări au permis determinarea unor structuri din ce în ce mai complicate, de la primele descoperiri ale lui W.H. şi W.L. Bragg (NaCl, diamant etc., 1913) pînă la prima proteină (mioglobina, Perutz, 1960). S-a trecut astfel, în mai puţin de cincizeci de ani, de la cristalele cu unul sau doi atomi pe celulă la conglomerate de mai multe mii de atomi.

Amintim cîteva etape intermediare importante. În 1925, W. L. Bragg a lămurit structura silicaţilor şi a arătat că această descoperire reînnoia complet chimia acestor săruri. Studiul cristalelor organice a fost iniţiat prin 1930 (structura naftalinei de către Robertson): s-au descoperit astfel direct ciclurile hexagonale de carbon, a căror existenţă fusese prevăzută de către chimişti în compuşii benzenici. D. Hodgkin-Crowfoot a stabilit în 1941 structura penicilinei înainte ca chimiştii să-i stabilească formula desfăşurată. L. Pauling a găsit structura elicoidală a proteinelor. Progrese considerabile s-au obţinut în studiul structurilor macropolimerilor şi, în particular, al fibrelor textile (Astbury, 1930—1940). Structurile cunoscute în ansamblu sînt acum reexaminate pentru a măsura cu precizie distanţele interatomice şi unghiurile dintre legături. Acestea sînt mărimi sigure pe care se pot fonda teoriile legăturilor interatomice, adică ale compuşilor chimici (Pauling). În perioada 1925—1950 s-au stabilit structurile aproape ale tuturor fazelor aliajelor metalice; în general, aceste faze nu corespund unei compoziţii determinate şi, deci, structura lor cristalină este principala lor caracteristică; de aici rezultă importanţa cercetărilor cristalografice în domeniul metalurgiei, în special a lucrărilor lui Westgren şi Phragmen (1925), Hägg (1930), Laves (1932) etc. Hume-Rothery a stabilit o clasificare a fazelor metalice care a putut fi apoi justificată prin teoria electronică a metalelor.

Chimiştii şi metalografii au apelat din ce în ce mai des la utilizarea radiaţiilor X, în special în perioada 1930—1940. Metoda de analiză radiocristalografică a unei pulberi cristaline permite identificarea componentelor pe baza diagramelor lor de difracţie.

Metoda introdusă de Hanawalt, Rinn şi Frevel (1938) s-a răspîndit datorită unei culegeri de diagrame standard (etaloane) realizată de *American Society for Testing Materials.* Într-un metal compus din cristale cu structură cunoscută, metalograful este interesat de „textură“, adică de dimensiunea cristalitelor elementare şi de felul cum acestea sînt orientate (Polanyi, 1928), ceea ce reprezintă o consecinţă a tratamentelor mecanice (ca laminarea sau trefilarea), sau a tratamentelor termice. Evidenţiind această textură, difracţia radiaţiilor X furnizează metalurgistului mijlocul de a înţelege şi deci de a controla metodele de tratare a metalului pentru a obţine calităţile dorite.

O dată cunoscute, pe de o parte, poziţia atomilor în cristal, şi pe de alta, constituţia atomului izolat, format din nucleul său şi din cortegiul său de electroni, teoreticienii au încercat să prevadă modificările acestei structuri electronice a atomilor, datorită vecinătăţii lor regulate în cristal. Păturile electronice interne sînt foarte puţin influenţate, rămînînd în primă aproximaţie aceleaşi ca la atomul liber; pentru electronii exteriori diferenţa este, dimpotrivă, considerabilă.

Un prim studiu a fost efectuat de Sommerfeld (1930), care a aplicat ecuaţiile mecanicii ondulatorii şi ale statisticii Fermi-Dirac ansamblului de electroni de valenţă ai unui cristal metalic. El a găsit că electronii de valenţă ai metalului trebuie să se distribuie pe o serie de nivele discrete, corespunzătoare unui şir de energii determinate, astfel încît pe acelaşi nivel nu se pot găsi mai mult de doi electroni, cu spini opuşi. Aceeaşi regulă (Pauli, 1925) permite stabilirea distribuţiei electronilor pe păturile succesive ale atomului izolat sau ale ansamblului de atomi dintr-un cristal.

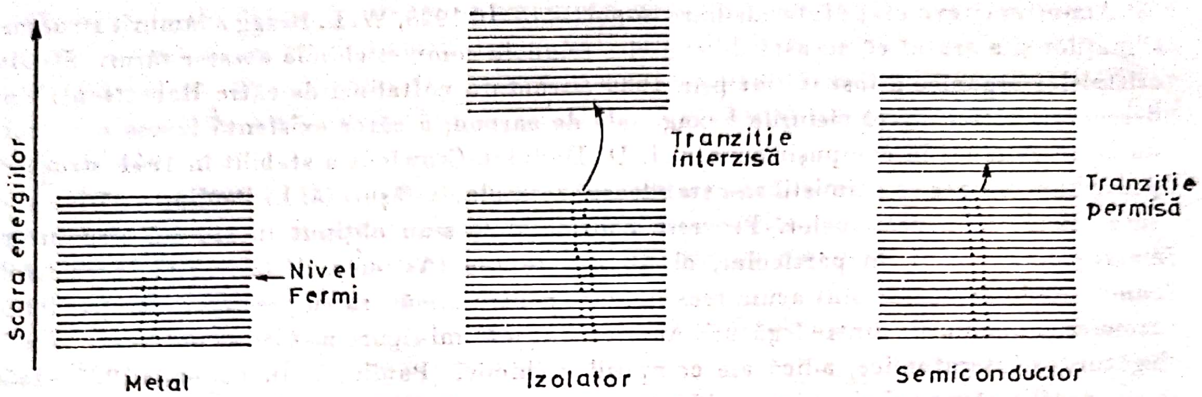


FIG. 2. SCHEMA BENZILOR NIVELELOR ENERGETICE LIBERE ŞI A CELOR OCUPATE DE CĂTRE ELECTRONI, ÎNTR-UN METAL, UN IZOLATOR ŞI UN SEMICONDUCTOR.

Teoria a fost apoi perfecţionată ţinîndu-se seama de cîmpul electrostatic produs de nucleele pozitive ale atomilor dispuşi periodic în cristal (F. Bloch, 1928). Rezultatul esenţial constă în faptul că nivelele posibile pe care se pot plasa electronii nu mai sînt dispuse regulat, ci sînt grupate în benzi separate de alte benzi de energie interzisă, nici un electron neputîndu-se deplasa în cristal dacă are o energie cuprinsă în aceste benzi (fig. 2).

Starea unui electron în cristal nu e determinată numai de valoarea energiei sale, ci şi de vectorul care reprezintă cantitatea sa de mişcare.

Fiecare electron al ansamblului este caracterizat de un punct din spaţiul momentelor, care reprezintă extremitatea vectorului cantitate de mişcare, trasat dintr-o origine comună. Acest spaţiu este cuantificat, adică împărţit în mici căsuţe care nu pot conţine decît un punct reprezentativ al stării a doi electroni (cu spini opuşi). Ansamblul punctelor corespunzătoare fiecăreia dintre stările posibile din prima bandă este conţinut într-un poliedru numit „zonă Brillouin“ (1930), a cărei formă depinde de structura cristalografică a metalului. Ansamblul stărilor efectiv ocupate este limitat de suprafaţa Fermi (1932).

Alături de structurile atomice ale cristalului, aceste reprezentări ale stărilor electronilor constituie bazele teoriei corpului solid. Această „teorie a benzilor“, care se aplică tuturor solidelor (metalice sau nu), a primit confirmarea unor numeroase fapte experimentale. Problema determinării suprafeţei Fermi şi a structurilor de benzi este una dintre cele mai importante probleme ale fizicii solidului şi multe măsurători experimentale sînt efectuate în acest scop.

PROPRIETĂŢILE TERMICE ALE CRISTALELOR. Căldura specifică este o consecinţă a agitaţiei termice a atomilor şi a variaţiei sale cu temperatura[2]. Prima aproximaţie constă în a considera atomii izolaţi, ceea ce conduce la explicarea teoretică a regulii empirice a lui Dulong şi Petit din fizica clasică. Einstein (1907) a explicat, prin introducerea noţiunii de cuantă, de ce se anulează căldura specifică a solidelor la zero absolut. Dar, deoarece atomii sînt legaţi unii de alţii pentru a forma cristalul, există interacţii între agitaţiile atomilor vecini. Born şi von Kármán (1912) le-au analizat şi au arătat că fenomenul elementar este reprezentat de producerea de unde de agitaţie termică care traversează cristalul şi se reflectă la marginile lui. Ei au putut clasifica aceste unde, cuantificate sub forma de fononi, şi le-au calculat energia. Pornind de la un model simplu, Debye a calculat variaţiile căldurii specifice cu temperatura (1912), iar teoria sa este corect verificată de experienţă. Studiul experimental al căldurii specifice la temperaturi foarte joase este deosebit de interesant (contribuţia electronilor de conducţie ai metalelor).

---

[2] Vezi şi studiul lui G. Allard (pp. 236, 237).

Conductibilitatea termică a izolatorilor a fost studiată pe baza noţiunii de fononi şi a difuziei lor în solide (Debye, 1914; Peierls, 1929; Klemens, 1951). Pe de altă parte, undele agitaţiei termice pot fi studiate experimental graţie fenomenului de împrăştiere a radiaţiilor X (Laval, 1940). În sfîrşit, dilatarea termică este legată de anarmonicitatea mişcărilor de vibraţie ale atomilor (Gruneisen, 1926).

PROPRIETĂŢILE ELECTRICE ALE SOLIDELOR. Cea mai simplă dintre aceste proprietăţi este conductibilitatea. Sub influenţa unei diferenţe de potenţial, solidele au o comportare variabilă, iar rezistenţa lor variază în proporţii considerabile de la izolatorii aproape perfecţi pînă la cei mai buni conductori. O primă teorie a permis să se ţină seama de distincţia dintre un izolator şi un conductor. Într-un izolator, electronii periferici sînt ataşaţi unui atom (solid ionic, NaCl; M. Born, 1930), sau la doi atomi vecini (solid covalent, diamantul) şi nu se pot deplasa nici măcar sub influenţa unui cîmp exterior intens. Într-un conductor, dimpotrivă, există electroni liberi care se deplasează, deci transportă curentul (cazul metalelor). Dar, teoria clasică a electronilor liberi (Drude, 1909; Lorentz, 1910) nu putea explica cantitativ rezistivitatea şi variaţiile sale cu temperatura şi nu făcea loc pentru existenţa corpurilor intermediare numite semiconductoare. Teoriile cuantice şi în special „teoria benzilor" au permis clarificarea problemei (A.H. Wilson, 1930).

Un solid este conductor cînd electronii de valenţă nu ocupă toate nivelele permise din banda respectivă: se spune că aceasta nu este completă. Studiind efectul unui cîmp exterior, s-a putut calcula rezistivitatea unui metal: acesta ar fi infinit conductor dacă ar fi riguros perfect, dar imperfecţiunile structurale îi limitează conductibilitatea. Rezistivitatea creşte deci cu temperatura, care măreşte vibraţiile atomilor, şi creşte, de asemenea, cu orice îi poate provoca o deformaţie statică (Matthiesen, 1925); metalele folosite drept conductori trebuie să fie deci foarte pure (cupru electrolitic). Conductibilitatea termică, ca şi legea experimentală a lui Wiedemann-Franz, care o leagă de conductibilitatea electrică, îşi găsesc astfel o explicaţie.

Aspectul teoretic al fenomenului de supraconductibilitate este expus în altă parte a lucrării (pp. 308—310). Din punct de vedere practic, metalele supraconductoare ar prezenta un mare interes dacă ar putea fi realizate la temperaturi uşor accesibile; cercetarea sistematică a materialelor cu punct critic cît mai înalt posibil a permis atingerea valorii de 17°K. În sfîrşit, posibilitatea de a obţine curenţi foarte intenşi cu un consum de energie foarte mic poate fi folosită pentru a realiza cîmpuri magnetice intense; din nefericire, supraconductibilitatea încetează, în general, în cîmpuri magnetice destul de slabe. Totuşi, s-a descoperit recent un compus, molibdenura de indiu, care permite obţinerea unui cîmp magnetic de ordinul a 80 000 Oe sub 18°K, fără consum apreciabil de energie.

Conform teoriei benzilor, izolatorii sînt cristale pentru care banda „de valenţă“ este complet ocupată, adică toate stările posibile din această bandă sînt ocupate de electroni de valenţă. Dar electronii nu pot părăsi banda sub influenţa unui cîmp, deoarece nu pot obţine suplimentul de energie necesară pentru a depăşi banda interzisă. Din această cauză, cîmpul nu are nici un efect: deoarece nu există curent în absenţa cîmpului, nu există nici în prezenţa sa; corpul este deci un izolator perfect.

Proprietăţile dielectrice ale izolatorilor sînt interesante atît din punct de vedere teoretic, cît şi din punct de vedere practic. Teoria orientării dipolilor (Debye, 1912) a fost folosită pentru explicarea comportării solidelor sub influenţa cîmpurilor de înaltă frecvenţă (pierderi dielectrice care permit încălzirea izolatorilor). S-au descoperit în acest domeniu materiale cu proprietăţi unice. Astfel, *feroelectricele* pot fi polarizate spontan, obţinînd în anumite cazuri o constantă dielectrică considerabilă (sarea Rochelle, Vasalek, 1921; titanatul de bariu, von Hippel, 1943). Materialele *piezoelectrice* permit transformarea deformărilor mecanice în semnale electrice, ceea ce conduce la utilizarea lor ca detectori de unde elastice sau de presiune (cuarţ: J şi P. Curie, 1880; titanatul de bariu). Şi invers, ele pot constitui generatoare de ultrasunete pornind de la oscilaţii electrice.

Teoria a permis explicarea remarcabilelor proprietăţi ale semiconductoarelor (siliciu, germaniu etc.) care cunosc o importanţă mereu crescîndă în domeniile cele mai diferite ale tehnicii. Banda lor de valenţă este completă, ca şi cea a izolatorilor, dar ea este separată de banda următoare, a stărilor posibile, printr-un interval energetic foarte mic, care, în anumite condiţii, poate fi traversat de electroni.

a) Această traversare poate fi realizată ca efect al agitaţiei termice. Deoarece conductibilitatea creşte exponenţial cu temperatura, semiconductoarele pot fi folosite la măsurarea sau controlul temperaturilor (termistori).

b) Unii electroni pot fi eliberaţi prin absorbţia de energie luminoasă: această proprietate este folosită în anumite celule.

c) Prin adăugarea de impurităţi în cantităţi foarte mici ($< 10^{-6}$) se pot transporta electroni în banda liberă (conductibilitate prin electroni, de tip *n*). Alte impurităţi permit crearea unor lipsuri în banda teoretic completă şi creează o conductibilitate datorită aşa-numitelor „goluri“ (tip *p*). Suprapunerea unei regiuni *n* şi a unei regiuni *p* în acelaşi cristal (cum este siliciul sau germaniul) furnizează o „joncţiune“, care este înzestrată cu proprietăţi electrice foarte interesante. Deoarece rezistenţa sa depinde de sensul curentului, joncţiunea permite redresarea curenţilor industriali sau detectarea curenţilor de înaltă frecvenţă.

Cu ajutorul celor două joncţiuni în acelaşi cristal se obţine *tranzistorul*, care a condus la progrese considerabile în electronică. Joncţiunea semiconductoarelor de cele două tipuri poate forma o pilă fotoelectrică care poate transforma energia luminoasă în energie electrică.

Folosirea semiconductoarelor a reînviat studiul efectului fotoelectric. Cercetarea sistematică a celor mai bune cupluri de materiale, după descoperirea proprietăţilor telururei de bismut (Joffe, 1940), a permis atingerea unui randament de ordinul a 10% în transformarea energiei calorice în energie electrică cu surse la 200—300°C şi la 0°C (ceea ce reprezintă o nouă metodă de utilizare a energiei solare). Efectul invers, sau efectul Peltier, este folosit cu aceleaşi materiale ca sursă de frig, pornind de la energia electrică (în construcţia frigiderelor).

PROPRIETĂŢILE MAGNETICE ALE SOLIDELOR. Sub influenţa unui cîmp magnetic, comportarea materiei este foarte diferită şi permite clasificarea corpurilor în diamagnetice, paramagnetice şi feromagnetice, ultimele neputînd exista decît în starea solidă.

Feromagnetismul depinde nu numai de proprietăţile magnetice ale atomilor, ci şi de poziţia lor reciprocă, adică de structura atomică a materiei. P. Weiss (1907) este cel care a creat teoria feromagnetismului, prin introducerea noţiunii de „cîmp molecular". Această teorie a fost apoi reînnoită datorită mecanicii cuantice, în timp ce alte două fenomene importante, antiferomagnetismul şi ferimagnetismul au fost prevăzute teoretic şi apoi evidenţiate experimental.

În paralel cu progresele teoretice s-au obţinut şi numeroase materiale magnetice noi, cu proprietăţi foarte diferite: metale cu permeabilitate foarte mare *(permalloy, supermalloy)*, *feritele* (combinaţii de oxizi cu formula MO, Fe_2O_3, în care M poate fi un ion metalic bivalent), care sînt în acelaşi timp şi magnetice, şi izolatoare.

Aceste ferite sînt de diferite tipuri; unele au o permeabilitate foarte mare şi pierderi de histeresis foarte mici, ceea ce permite utilizarea lor în transformatoarele de curenţi cu frecvenţe înalte. Altele au un histeresis foarte mare, ceea ce permite construirea unor magneţi permanenţi puternici de forme foarte variate. Anumite ferite care nu au decît două stări posibile de magnetizare, de direcţii opuse, pot constitui memorii pentru maşinile electronice de calcul. S-au descoperit, de asemenea, şi cristale transparente şi magnetice — cristale ale unor pămînturi rare — folosite în construcţia maserilor.

PROPRIETĂŢILE OPTICE ALE SOLIDELOR. Proprietăţile optice ale solidelor depind de interacţia undelor electromagnetice cu electronii sau cu ionii. În cazul metalelor, electronii de conducţie sînt cei care produc absorbţia şi marea putere reflectoare caracteristică luciului metalic (Drude, 1900). În solidele ionice, banda de absorbţie din infraroşu este legată de mişcarea relativă a ionilor de sarcini contrare. Frecvenţa sa se poate calcula pe baza constantelor elastice ale cristalului (radiaţii restante, Rubens, 1902).

Cînd într-un cristal ionic transparent, ca de exemplu o halogenură alcalină, se introduc defecte (prin încălzire în vaporii metalului sau prin diferite iradieri), cristalul se colorează. Benzile de absorbţie sînt create prin variate defecte atomice; centrele de culoare cu fost intens studiate (astfel, centrul *F* este constituit de o lacună negativă care a capturat un electron etc.; Pohl, 1930).

Multe dintre solidele iradiate cu radiaţii de lungimi mici de undă reemit unde cu lungimi mai mari, fie imediat *(luminescenţă)* fie după un anumit timp *(fosforescenţă)*. S-a stabilit că adesea este necesară o impuritate în proporţie mică pentru a activa solidul. Numeroase studii au condus la progrese în înţelegerea teoretică a acestui fenomen şi la importante aplicaţii practice (cristale scintilatoare pentru detecţia particulelor sau a fononilor de înaltă energie, solide electroluminescente; Destriau, 1935 etc.).

PROPRIETĂŢILE MECANICE ALE SOLIDELOR. Cu toate că solidele, şi în particular metalele, sînt folosite cel mai des datorită proprietăţilor lor mecanice, acestea sînt printre cele mai dificil de explicat teoretic şi sîntem încă departe de a avea o teorie care să explice nu numai toate particularităţile observate, ci chiar fapte generale mai simple. De aceea, studiile din acest domeniu sînt efectuate pe două direcţii paralele: studii pur teoretice, efectuate în diverse direcţii, şi studii empirice sau semiempirice, care au ca scop perfecţionarea materialelor sau metalelor deja existente.

Motivul principal al dificultăţilor întîlnite rezidă în faptul că modelul simplu al cristalului perfect este absolut nepotrivit pentru evidenţierea proprietăţilor mecanice celor mai elementare, ca de exemplu valoarea sarcinii de ruptură a unui cristal fragil, sau limita elastică a unui metal plastic. Se ştie acum că defectele de structură joacă un rol esenţial la limitarea proprietăţilor mecanice cu mult sub cele ale cristalului perfect. Acestea sînt defectele de care se ocupă teoreticienii, iar modelul de defect cel mai general utilizat este *dislocaţia*, introdusă de Taylor, Orowan şi Burgers (1930).

O reţea cristalină conţine o „dislocaţie de margine" cînd îi lipseşte un semiplan atomic, (fig. 3), şi cînd atomii din vecinătate sînt uşor deplasaţi pentru a umple parţial golul. Capătul semiplanului reprezintă muchia dislocaţiei. Dislocaţia de margine nu reprezintă singurul tip posibil de dislocaţie; mai există şi dislocaţia elicoidală. Existenţa acestor dislocaţii, prevăzută întîi de către teoreticieni, a fost apoi confirmată de un foarte mare număr de observaţii. Dislocaţiile dintr-un cristal pot fi numărate, acestora li se poate determina forma şi li se pot urmări mişcările în timpul deformării cristalului cu ajutorul metodei figurilor de atac (de coroziune), care scot în evidenţă intersecţiile liniilor de dislocaţie cu suprafaţa (fig. 4), al metodelor de decorare (marcare) a liniilor din interiorul unui cristal transparent (Mitchell, 1955), sau, în sfîrşit, prin imaginile obţinute la microscopul electronic sau cu radiaţii X (Hirsch şi Whelan, 1956; Lang, 1958).

Printre celelalte defecte studiate de teoreticieni, cităm atomii lipsă, sau lacunele, şi atomii de impurităţi; aceştia se pot grupa uneori în jurul liniilor de dislocaţii (norii lui Cottrell).

Din punct de vedere semiempiric, s-a căutat să se lege proprietăţile mecanice ale metalelor, măsurate cu precizie, de structura lor, sau de compoziţia lor în cazul aliajelor, în funcţie de tratamentele termice sau mecanice. Rezultatele acestor studii sistematice au condus la progrese considerabile în performanţele metalelor, necesare cerinţelor noi ale tehnicii: metale în acelaşi timp rezistente şi uşoare pentru aviaţie, metale rezistente la temperaturi mari pentru maşinile termice care lucrează la temperaturi ridicate, cum ar fi

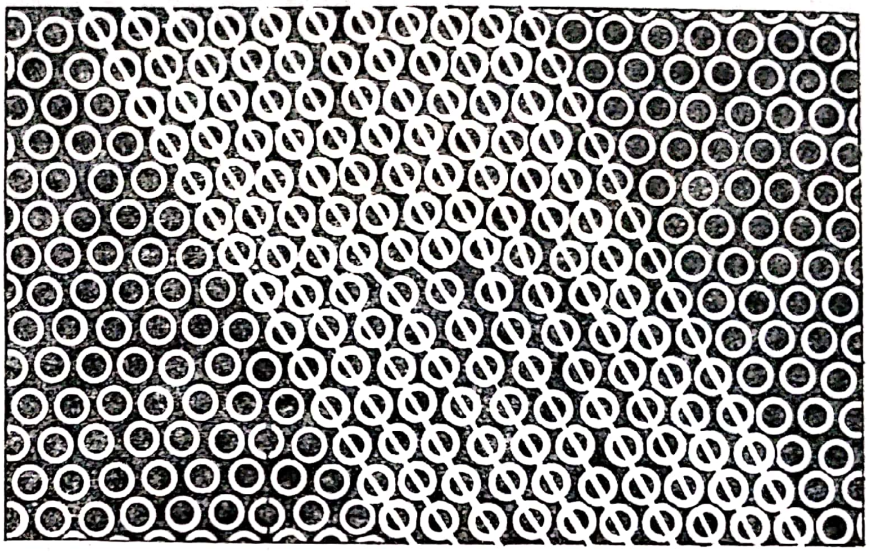


FIG. 3. REPREZENTAREA SCHEMATICĂ A UNEI DISLOCAŢII ÎNTR-UN ARANJAMENT REGULAT CU DOUĂ DIMENSIUNI.

Atomii sînt reprezentaţi prin mici balonaşe asemănătoare care plutesc la suprafaţa apei şi sînt presate unele într-altele într-un aranjament exagonal regulat.

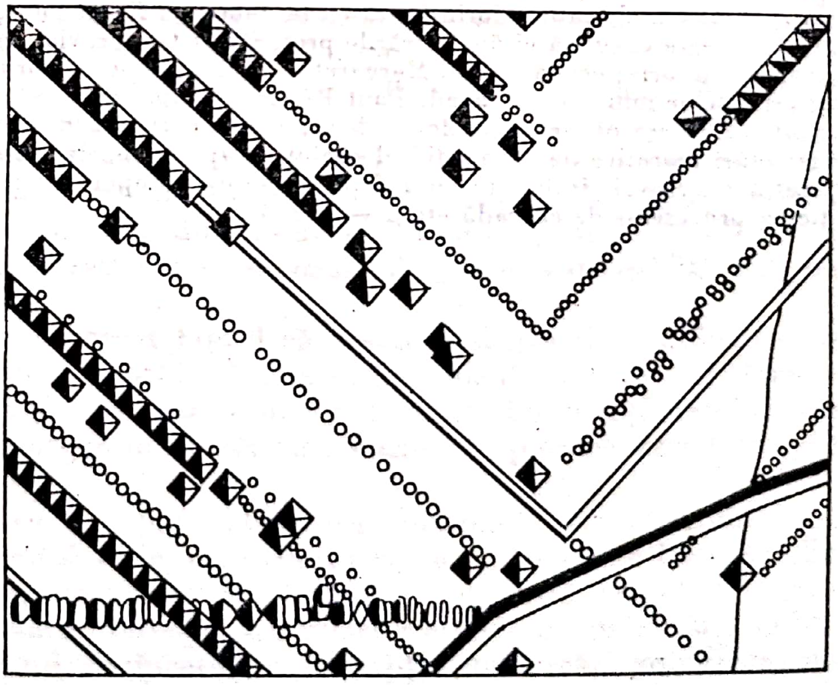


FIG. 4. INTERSECŢIA CU SUPRAFAŢA UNUI CRISTAL DE FLUORURĂ DE LITIU A LINIILOR DE DISLOCAŢIE PUSE ÎN EVIDENŢĂ DE FIGURILE DE ATAC.

reactorii, metale rezistente la coroziune, metale rezistente la radiaţii atomice sau nucleare, ca în reactorii nucleari etc.

Obţinerea metalelor de calitate impune un control permanent prin metodele cele mai fine (radiaţii X, proprietăţi mecanice, magnetice, dilatometrice; Chévenard, 1920). Acest control contribuie la perfecţionarea unor tratamente din ce în ce mai complexe, necesare pentru a furniza materialului calităţile dorite.

Dacă teoria nu a permis descoperirea unor procedee noi, ea a clarificat şi, în consecinţă, a îmbunătăţit tratamentele cunoscute pe cale empirică: transformarea martensitică, călirea oţelurilor, durificarea structurală a aliajelor uşoare (descoperită la duraluminiu de Wilm, în 1909).

Dimpotrivă, anumite fenomene importante în practică rămîn încă refractare la o explicaţie teoretică completă; astfel este cazul *oboselii metalelor*, al faptului că metalul devine casant sub influenţa unor solicitări alternative, sau al *fluajului*, care începe ca o deformare a metalelor sub sarcină constantă în funcţie de timp (studiul început de Andrade în 1911).

În timp ce în cursul mai multor milenii metalurgia fierului sau a bronzului nu a progresat decît lent şi într-un mod pur empiric, introducerea metodelor ştiinţifice a scurtat considerabil aceste tatonări. Astfel, pentru aluminiu, evoluţia n-a durat mai mult de 50 de ani, iar problemele pe care le-a ridicat folosirea metalelor noi — ca cele necesare în industria nucleară (uraniu, zirconiu, niobiu etc.) — au putut fi rezolvate în numai cîţiva ani[3].

---

[3] Este oportun de menţionat aici că cercetările privind structura şi proprietăţile corpurilor solide au căpătat în România în ultimul sfert de veac un deosebit avînt. Printre realizările relevante din acest domeniu citäm lucrările acad. Gh. Atanasiu privind fotoelectricitatea cristalelor semiconductoare şi ale acad. Traian Gheorghiu în acelaşi domeniu, ale prof. Al. Cişman (1897—1967) în domeniul viscozităţii magnetice şi în studiul efectului Barkchausen, ale prof. Florin Ciorăscu în domeniul fizicii solidului şi descărcărilor în gaze. Tot aici este cazul să citäm lucrările prof. Radu Grigorovici despre structura semiconductoarelor amorfe; cele ale prof. Margareta Giurgea despre proprietăţile optice ale polimerilor şi cristalelor ionice şi ale acad. Paul Petrescu asupra spectrelor de emisie exo-electronică pentru a infera natura centrilor emisivi; ale prof. Dănilă Barb asupra efectului Mössbauer. Cercetări teoretice de corp solid, deosebit de apreciate, sînt întreprinse între timp de prof. Aretin Corciovei (influenţa suprafeţelor asupra comportării sistemelor parţial finite, iniţierea proceselor de cascadă etc.). — *N.I.-P.*

CAPITOLUL V
Optica luminii vizibile

O RECAPITULARE A EVOLUŢIEI ANTERIOARE. În secolul al XX-lea optica s-a găsit într-o stare de criză. Această ştiinţă fusese creată în scopul studierii fenomenelor luminoase: vederea, lumina, culorile şi imaginile, precum şi instrumentele aferente. Timp de mai bine de două milenii, obiectul său fundamental l-a constituit studiul mecanismului vederii. Această problemă fiind rezolvată la începutul secolului al XVII-lea, pe baza ipotezei existenţei unui *quid* care se propagă de la obiectele luminoase sau iluminate spre ochiul observatorului, optica şi-a îndreptat apoi atenţia asupra studiului naturii acestui *quid*, ceea ce constituie cercetarea „naturii luminii". Aceasta constituia o problemă specific optică: era oare *lumen*-ul, sau *quid*-ul, care provoca vederea, singurul agent capabil de a impresiona ochiul? Era oare ochiul singurul martor al acestui agent exterior? Această problemă constituia tema fundamentală a *opticii fizice.*

Dar, în primii ani ai secolului al XIX-lea, două observaţii au zguduit bazele opticii clasice. *Lumen*-ul, capabil să stimuleze ochiul, avea şi un efect termic asupra termometrului şi modifica chimic anumite substanţe, ca azotatul de argint care se înnegrea sub efectul radiaţiilor albastre sau violete. Mai mult decît atît, dacă un termometru era deplasat de-a lungul unui spectru solar, efectul termic creştea de la violet spre roşu şi mai ales dincolo de roşu. De asemenea, acţiunea chimică (sau „actinică") asupra sărurilor de argint creştea de la roşu spre violet şi continua dincolo de violet. S-a ajuns la concluzia că există un infraroşu şi un ultraviolet şi se vorbea de „lumina invizibilă" sau de „lumina neagră".

Mult timp nici nu s-a remarcat faptul că aceste descoperiri modificau profund rolul opticii. Nu numai că ochiul înceta să fie unicul detector al *lumen*-ului, dar s-a demonstrat şi existenţa unui *lumen* incapabil să acţioneze asupra ochiului. Funcţia acestui organ în raport cu *lumen*-ul îşi pierdea astfel treptat din valoarea sa.

În acelaşi timp, pentru a explica structura „luminii", teoria corpusculară era înlocuită cu teoria ondulatorie, care considera că lumina este formată din unde elastice care se propagă într-un fluid special şi ipotetic, eterul. Lărgirea cîmpului radiaţiilor invizibile, descoperirea undelor electromagnetice şi a radiaţiilor X au condus încetul cu încetul la concepţia unei scări grandioase de unde, ale căror lungimi de undă se întind de la mai multe mii de kilometri la cîteva miliardimi de milimetru (vezi p. 274). Radiaţiile capabile să impresioneze ochiul aparţin acestui ansamblu, dar ele nu reprezintă decît o foarte mică parte din el, cuprinsă între lungimile de undă de la 0,76 la 0,38 μm.

Studiul naturii luminii şi al fenomenelor optice şi-a pierdut astfel caracterul particular pe care l-a avut pînă la începutul secolului al XIX-lea şi a intrat în vastul domeniu al electromagnetismului. Limitată doar la undele capabile să impresioneze ochiul, optica fizică nu mai avea raţiunea de a exista; era necesară studierea naturii şi a proprietăţilor acestui mare ansamblu, care interesa toată fizica.

STRUCTURA OPTICII LA ÎNCEPUTUL SECOLULUI AL XX-LEA. În realitate, la începutul secolului al XX-lea, printr-un fel de inerţie, se continua să se vorbească mult despre optică, şi chiar despre mai multe tipuri de optică. *Optica geometrică* — pur matematică — considera că lumina era compusă din radiaţii geometrice capabile să se reflecte şi să se refracte, fără a se preocupa de natura sa fizică. Deşi anumite experienţe de interferenţă, de difracţie şi de polarizare au arătat că nu se putea acorda radiaţiilor geometrice nici o existenţă fizică reală, optica geometrică îşi continua avîntul. Simplicitatea sa schematică conducea, într-adevăr, la o prezentare didactică comodă a fenomenelor luminoase. Afară de aceasta, ea a continuat să domine studiul teoretic al proiectelor de instrumente optice, pînă cînd anumite fenomene de natură ondulatorie au infirmat valabilitatea principiilor admise.

Într-o perspectivă foarte diferită, *optica fiziologică* era consacrată în special studiului ochiului, mecanismului vederii, ametropiilor şi corecţiei lor. Acest studiu a condus la *optica psihologică*, al cărei scop era definirea legilor reprezentării psihice a stimulilor ce acţionează asupra ochiului. Ea a condus, de asemenea, şi la tehnica ochelarilor — destinată corectării practice a ametropiei — şi la oculistică — orientată spre patologia şi terapeutica bolilor ochiului şi ale anexelor oculare.

În sfîrşit, erau considerate ca domenii ale opticii *fotometria* — studiul energiei radiante, atît în calitate de lumină, cît şi ca culori văzute de ochiul omenesc — şi *tehnica iluminării*. Alături de fotometrie, *colorimetria* avea ca obiect măsurarea culorilor şi definirea esenţei lor fizice.

Erau, de asemenea, admise în sînul opticii şi *fotografia*, care înregistrează imagini optice pe o emulsie sensibilă cu ajutorul unor aparate înzestrate cu lentile sau cu alte sisteme optice, precum şi numeroase alte metode tehnice derivate: cinematografia, astrografia, fotogrametria, aerofotogrametria, micrografia, spectrografia etc.

Fotoelectricitatea era ea însăşi considerată ca o parte a opticii, deoarece celulele fotoelectrice permit detectarea radiaţiilor şi reprezentarea lor completă.

Se adăugau, de asemenea, la acest domeniu, producerea sticlei optice, fabricarea lentilelor, a oglinzilor şi a prismelor, procedeele de calcul optic al sistemelor, precum şi studiul proiectelor, realizarea şi controlul instrumentelor optice — care constituie diversele specialităţi ale *opticii tehnice* şi care necesită o colaborare ştiinţifică foarte specializată.

Trebuie subliniat, în sfîrşit, că instrumentele optice joacă un rol auxiliar important în numeroase domenii — lunetele şi telescoapele în astronomie, instrumentele de vizare în geodezie şi topografie — iar anumite ştiinţe ca metrologia, spectroscopia, interferometria, microscopia, telemetria etc. prezintă un caracter optic deosebit de evident.

CRIZELE OPTICII. Acest tablou ne confirmă cu prisosinţă ideea că optica s-a găsit în plină criză în secolul al XX-lea. În timp ce, din punct de vedere teoretic, ea şi-a pierdut autonomia în favoarea electromagnetismului, în complexul activităţilor umane ea se prezenta încă drept un vast ansamblu de ştiinţe şi tehnici, cu structură eterogenă şi în continuă dezvoltare. Această situaţie devenea cu atît mai insuportabilă cu cît au apărut domenii separate, foarte depărtate unele de altele, în care aceiaşi termeni, aceleaşi noţiuni fundamentale căpătau semnificaţii diferite. Această criză avea să conducă la o clarificare lentă, care nu s-a impus încă decît în mediile specialiştilor.

Faptul că optica era pe punctul de a fi înglobată în electromagnetism a condus la reacţii fecunde. Într-adevăr, era evident că optica avea un caracter propriu şi original, care îi permitea să fie considerată ca o adevărată ştiinţă şi nu ca o ramură a electromagnetismului.

Dar definirea unei astfel de ştiinţe nu era o sarcină uşoară, deoarece evoluţia istorică care o condusese la acest gigantism falsificase însăşi natura fenomenului optic.

OPTICĂ, FOTOGRAFIE ŞI FOTOELECTRICITATE. În realitate, era necesară revenirea la origini şi considerarea opticii ca o ştiinţă legată de ochiul omenesc şi consacrată studiului fenomenelor vederii, luminii, culorii şi imaginilor în care intervine ochiul. O astfel de ştiinţă nu era şi nu poate fi — cel puţin pentru moment — un capitol al electromagnetismului.

Astfel, optica părea a fi obligată să-şi piardă caracterul de ştiinţă fizică, pentru a se limita practic doar la domeniul opticii fiziologice clasice. În realitate situaţia era mai complicată. Înţeleasă în sensul clasic, optica se referă la fenomene de următorul tip: o sursă materială emite radiaţii de lungimi de undă variate, radiaţii care sînt reflectate, refractate, împrăştiate etc. de către alte corpuri materiale, şi apoi captate de un receptor care le pune în evidenţă. Unul dintre aceşti receptori este emulsia fotosensibilă, care, sub acţiunea radiaţiilor, suferă alteraţii atomice sau subatomice şi, după developare şi fixare, face să apară o „imagine" în alb şi negru. Un alt receptor este celula fotoelectrică, care suferă modificări electronice sub acţiunea radiaţiilor, iar dacă este introdusă într-un circuit corespunzător dă naştere la curenţi electrici. Un al treilea receptor este ochiul omenesc, care transformă stimulii radianţi primiţi, în grupuri de influxuri nervoase care sînt trimise la creier pe calea nervilor optici şi sînt integrate în activitatea psihică a observatorului. Aceasta îi analizează, îi confruntă cu informaţiile păstrate în memorie sau cu cele care vin de la alţi nervi senzoriali şi, în sfîrşit, îi reprezintă cu ajutorul figurilor luminoase şi colorate, localizate în faţa ochilor, figuri care constituie lumea exterioară aşa cum o vede fiecare dintre noi.

Procesul fotografic constă, în esenţă, în reacţii fizico-chimice, în timp ce procesul fotoelectric este de natură electronică. Deci singurul proces optic veritabil este cel al vederii luminii, culorii şi imaginilor cu ochiul. Este vorba de un complex de fenomene cu o triplă natură: o natură fizică în ceea ce priveşte emisia radiaţiilor de către atomii materiali şi propagarea lor de la sursa emiţătoare pînă la retina ochiului observator; o natură fizico-chimică şi fiziologică în ceea ce priveşte comportarea porţiunii transparente a ochiului, anterioară retinei, funcţionarea acesteia şi transmisia nervoasă; şi, în sfîrşit, o natură psihologică în etapa finală a fenomenului vizual: reprezentarea şi localizarea figurilor luminoase şi colorate din lumea vizibilă.

OPTICA VEDERII. După această clarificare fundamentală, cadrul general al opticii de la mijlocul secolului al XX-lea apare mult mai raţional şi mai ordonat decît ansamblul incorect definit şi incoerent de la începutul secolului. Această punere la punct are consecinţe importante.

Mai întîi, optica fizică încetează să se preocupe de un anumit domeniu; studiul naturii radiaţiilor devine o problemă generală, care interesează toate domeniile fizicii în care intervin undele electromagnetice, deci este o *fizică a radiaţiilor*. În plus, pierzînd din ce în ce mai mult contactul cu experienţa, optica geometrică îşi accentuează caracterul său pur matematic.

Diversele ştiinţe, care sînt legate de recepţionarea prin emulsii fotosensibile, formează un domeniu autonom, fotografia, cu diferitele sale tehnici asociate; un domeniu analog, fotoelectricitatea, grupează studiile legate de decelarea cu ajutorul celulei fotoelectrice.

Optica propriu-zisă, definită ca ştiinţă a *vederii*, cuprinde toate temele relative la funcţionarea ochiului omenesc, folosind rezultatele fizicii radiaţiilor şi dezvoltînd în special studiul funcţionării diferitelor părţi ale organului vederii. La această *fiziologie a ochiului* se adaugă studiul reprezentării psihologice a stimulilor fizici, a căror importanţă capitală a ieşit în evidenţă cînd s-a stabilit că lumina, culorile şi imaginile nu sînt altceva decît entităţi psihologice. Din această cauză, optica a pierdut caracterul fizic pe care-l avusese pînă atunci, pentru a adopta o structură fizico-fizio-psihologică, dominată de aspectul psihologic care marchează completarea procesului vizual.

Recunoaşterea naturii psihice a luminii şi a culorilor a condus la obligaţia de a reconsidera definiţia fotometriei şi a colorimetriei, considerate pînă atunci ca ramuri ale fizicii. Această analiză a permis clarificarea anumitor echivocuri. Dacă *lumina care se vede* este o entitate psihică ce se opune oricărei măsurări fizice, s-au putut totuşi realiza astfel de măsurări schematizînd convenţional activitatea psihică a observatorului prin definirea unui *ochi mediu*, înzestrat cu caracteristici stabilite pe baza măsurătorilor efectuate pe un mare număr de ochi reali. Lumina din fotometrie, care este funcţie de radiaţie şi care încearcă să exprime ceea ce ar vedea un observator înzestrat cu ochi medii, este deci o lumină convenţională.

O remarcă analoagă trebuie făcută și în privința colorimetriei. Culorile nu există decît datorită activității psihice a observatorului, care reprezintă, prin ele, anumite caracteristici, încă imperfect definite, ale radiației care a impresionat retina. Ca urmare, s-au făcut eforturi de schematizare convențională a intervenției fizio-psihologice a observatorului, ca dealtminteri și a structurii spectrale a radiației iluminatoare. Eliminînd astfel intervenția efectivă a observatorului, s-au putut stabili reguli de „măsurare" a culorilor, adică de măsurare a anumitor condiții fizice care ar conduce un observator mediu să vadă anumite culori determinate. Această metodă convențională a fost deosebit de fecundă în ceea ce privește aplicațiile.

Această obiectivizare a studiilor optice, realizată prin înlocuirea intervenției fizio-psihologice a observatorului cu niște convenții, a fost de fapt mai generală decît se putea crede. În realitate, această metodă fusese deja folosită și în alte domenii ale opticii, dar acest fapt a fost uitat considerîndu-se ca realitate experimentală ceea ce nu era decît pură convenție.

Acesta era, în particular, cazul opticii geometrice. Eleganța acestei construcții matematice, destinată definirii poziției și formei *imaginilor* furnizate de sistemele optice, conducea la impresia că experiența ar permite să vedem figurile exact în dimensiunile și poziția determinate de teorie. O examinare critică atentă arată că aceasta nu se verifică riguros decît în cazuri excepționale. Formele și poziția imaginilor văzute variază de la un observator la altul și depind de experiență și de capacitățile psihice ale observatorului.

Imaginile la care se referă regulile opticii geometrice se deduc dintr-o ipoteză implicită datorată lui Kepler, numită „regula triunghiului distanțiometric", care afirmă că observatorul vede un punct luminos în vîrful conului radiațiilor care sosesc la ochi. Deși această regulă a avut meritul de a face ordine în optica atît de confuză a secolului al XVI-lea, ea nu reprezintă decît o pură ipoteză de lucru care nu se verifică decît foarte rar. Punctul luminos pe care îl vede un observator cînd sosesc la ochiul său radiațiile emise de o sursă punctiformă poate fi localizat de către activitatea psihică la distanțe foarte diferite de cele prevăzute de această regulă. Imaginile studiate de optica clasică nu erau deci decît entități convenționale care nu corespundeau mai bine rezultatelor experimentale decît lumina în fotometrie sau culorile în colorimetrie. Această activitate de critică și de reorganizare a ideilor fundamentale ale opticii clasice a pus în evidență tendința exagerată a secolului al XIX-lea de a considera obiective, adică fizice, numeroase elemente de natură pur psihică, comițînd astfel o eroare filozofică evidentă care a avut consecințe teoretice și chiar tehnice importante.

NOUA DEFINIȚIE A NOȚIUNII DE IMAGINE. Readucînd astfel noțiunile fundamentale la domeniul lor natural, s-au elaborat noi clasificări, deosebit de importante, cum este cea a imaginilor.

Optica clasică nu lua în considerare decît imaginile definite ca locuri ale vîrfurilor conurilor rezultate din sistemul optic (sau locul centrelor undelor emergente). Toate raționamentele se refereau la structura acestor locuri geometrice, considerînd decelarea imagini ca un simplu procedeu destinat confirmării previziunilor calculului aritmetic sau al construcţiei geometrice.

Noile concepţii au permis rectificarea acestor idei, scoţînd în evidenţă natura diferitelor entităţi considerate. Se consideră mai întîi emisia de energie radiantă, sau radiaţia, unui corp (obiect) şi propagarea sa (spre sistemul optic, prin acest sistem şi dincolo de el) pînă cînd energia corespunzătoare imaginii se distribuie într-o anumită regiune cu o structură de *natură fizică*, *imaginea eterată*. Regulile opticii geometrice sau algoritmul ondulator dau despre această structură o reprezentare schematică de *natură matematică*, *imaginea calculată*, a cărei cunoaştere a fost precizată în urma diferitelor cercetări. Pe plan experimental, imaginea este concretizată cu ajutorul unor dispozitive capabile să fie impresionate de radiaţii. *Imaginile revelate* astfel obţinute au o natură variată, după receptorul folosit: natură chimică în cazul *imaginii fotografice*, natură electronică în cazul *imaginii fotoelectrice* etc. Ochiul omenesc furnizează reprezentări luminoase şi colorate, localizate în spaţiul aparent, „fantome“ de natură psihică care sînt *figurile văzute*. Aceste cinci tipuri de imagini — eterată, calculată, fotografică, fotoelectrică şi văzută — sînt de natură atît de diferită încît nu pot fi comparate.

La începutul secolului al XIX-lea se considera imaginea calculată ca o reprezentare reală şi indiscutabilă a imaginii eterate şi nu se atribuia decît o valoare foarte redusă imaginilor revelate, datorită incertitudinilor şi defectelor acestui proces. Punctul de vedere actual este foarte diferit. Imaginea eterată fiind pur ipotetică, iar imaginea calculată nefiind decît o reprezentare schematică, imperfectă a acesteia, rezultă că imaginea revelată este de fapt singura care prezintă un interes real. Dar — şi aceasta constituie o importantă inovaţie conceptuală — natura sa este foarte diferită de cea a imaginii calculate. Mai mult, în funcţie atît de imaginea eterată cît şi de caracteristicile receptorului, ea nu poate fi definită într-un mod tot atît de teoretic ca imaginea calculată, care este concepută prin ea însăşi, independentă de orice receptor.

OPTICA ENERGETICĂ. Aceste consideraţii au permis precizarea noţiunilor fundamentale ale opticii, ale fotografiei şi ale fotoelectricităţii. Întrucît răspunsul diferiţilor receptori depinde neliniar de intensitatea radiaţiei incidente, structura imaginii revelate depinde nu numai de structura imaginii eterate şi de cea a receptorului, ci şi de energia concentrată în această imagine. Astfel, un aparat fotografic dat, care foloseşte plăci identice, furnizează imagini diferite ale unui acelaşi subiect în funcţie de durata de expunere; la fel, un observator care priveşte un obiect dat vede imagini foarte diferite în funcţie de gradul de iluminare.

În acest fel, a apărut o nouă ramură a opticii, *optica energetică;* ea confirmă insuficienţa opticii clasice şi numeroasele şi gravele erori, datorate suprapunerii, amestecării problemelor şi ipotezelor de bază. Tehnica instrumentală a profitat, de asemenea, de această nouă concepţie, iar numeroasele probleme tehnice încredinţate pînă acum empirismului — sau experienţei — sînt abordate astăzi prin raţionamente teoretice foarte utile şi conforme realităţii.

NOUA DEFINIŢIE A PUTERII DE REZOLUŢIE. O altă consecinţă foarte importantă a fost modificarea profundă pe care a suferit-o una dintre noţiunile care a dominat optica clasică începînd de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, noţiunea de putere de rezoluţie.

Bazîndu-se pe teoria undelor, Ernst Abbe în Germania şi lordul Rayleigh în Anglia au reuşit, pe căi diferite, să dovedească faptul că imaginea furnizată de un sistem optic nu poate avea o fineţe nelimitată: datorită efectelor fenomenelor de interferenţă şi de difracţie, imaginea are o astfel de structură încît particularităţile obiectului dispar dincolo de o anumită limită, numită putere separatoare sau *putere de rezoluţie*. Cînd sistemul optic este suficient de lipsit de imperfecţiuni de construcţie şi de aberaţii optice, puterea de rezoluţie depinde doar de doi parametri: lungimea de undă a radiaţiei folosite şi un element geometric al instrumentului, diametrul util al obiectivului lunetei, baza prismei, numărul total de linii spectrale date de un spectroscop etc.

Timp de mai multe decenii, această teorie a fost admirată pentru coerenţa, eleganţa şi utilitatea sa în proiectarea instrumentelor, în studiul şi caracterizarea lor. S-a obişnuit să se confrunte „puterea de rezoluţie teoretică", calculată pe baza acestor reguli, cu „puterea de rezoluţie efectivă" şi să se aprecieze perfecţiunea şi valoarea comercială a unui instrument optic în funcţie de acordul constatat între aceste două valori. Dar experienţa nu concordă adesea cu această concepţie; în majoritatea cazurilor, valorile depind de particularităţile şi de condiţiile experimentale. De aceea, s-a aplicat o metodă convenţională, analoagă cu cea utilizată în fotometrie, în colorimetrie şi în optica geometrică — stabilirea condiţiilor experimentale ale măsurătorilor. Dar unii teoreticieni ai opticii clasice nu au remarcat că această necesitate de a recurge la evaluări convenţionale ale unor elemente ocazionale dovedea că puterea de rezoluţie nu era o caracteristică a instrumentului, ci depindea de alţi factori, necunoscuţi.

Clarificarea ideilor asupra naturii imaginilor a antrenat clarificarea noţiunii de putere de rezoluţie. S-a admis că fiecare tip de imagine posedă propria ei putere de rezoluţie. În timp ce puterea de rezoluţie a imaginii eterate nu poate fi cunoscută, cea care fusese definită de lordul Rayleigh şi de Abbe este în esenţă cea a imaginii calculate, obţinută prin intermediul unei ipoteze care substituie receptorului un mod pur convenţional. Puterea de rezoluţie efectivă, măsurată experimental la imaginea revelată, este ataşată acestei imagini şi, ca şi ea, depinde de caracteristicile de sensibilitate ale receptorilor şi de condiţiile energetice experimentale. Factorul cel mai important — neglijat de teoria clasică — este energia, factor foarte variabil şi care este responsabil de o bună parte dintre variaţiile constatate.

Acţiunea unei radiaţii asupra unei pelicule fotografice nu se manifestă decît dacă radiaţia incidentă se găseşte deasupra pragului de sensibilitate şi sub limita de saturaţie. Puterea de rezoluţie practică variază deci în funcţie de energia disponibilă, crescînd de la zero pînă la maxim, pentru a descreşte apoi iar pînă la zero. De aceea nu se pot trage concluzii asupra calităţii unui instrument din raportul ce există între puterea de rezoluţie determinată experimental şi cea teoretică.

Astfel, structura intimă a opticii s-a modificat profund în cursul secolului al XX-lea. Concepută pe baza vechii scheme, istoria opticii s-ar extinde peste un domeniu imens care înglobează fizica radiaţiilor, fotografia şi fotoelectricitatea. Considerînd-o, dimpotrivă, din perspectiva noii sale definiţii, ne vom limita doar la studiile privitoare la optica considerată ca ştiinţă a vederii.

DEZVOLTAREA FIZIOLOGIEI OCHIULUI. Cercetările întreprinse pentru a defini reacţia ochiului omenesc la stimulii radianţi au fost deosebit de fructuoase. Cunoaşterea structurii retinei şi a nervilor optici a fost, de asemenea, precizată, în timp ce asupra lanţului de reacţii iniţiate în retină începînd din momentul în care aceasta este atinsă de radiaţie şi terminînd prin trimiterea semnalului nervos în nervii optici au fost emise diferite ipoteze. Electroretinografia — înregistrarea fenomenelor electrice legate de stimularea retiniană, sub efectul radiaţiilor — a cunoscut, de asemenea, o mare dezvoltare (vezi p. 669).

Rezultate interesante au fost, de asemenea, obţinute în studiul reacţiei retinei la stimuli variabili în timp (sclipiri) şi în spaţiu; dacă această variaţie este gradată, reacţia nu este liniară şi apar alteraţii, în special cînd gradientul începe sau sfîrşeşte; în acest caz se văd „liniile lui Mach“, pentru care nu a fost găsită încă o explicaţie corectă. Cercetările asupra pragurilor absolut şi relativ de sensibilitate, asupra adaptării, acomodării, a legăturii dintre diferite funcţii retiniene şi diferite alte proprietăţi ale ochiului au constituit obiectivul a numeroşi cercetători, fiziologi şi opticieni, printre care trebuie citaţi în special A. Gullstrand, H.K. Hartline, E.D. Adrian, R. Granit, Y. Le Grand.

EVOLUŢIA OPTICII PSIHOLOGICE. Studiul reprezentării psihologice a stimulilor care acţionează asupra ochiului — de fapt studiul structurii lumii aparente — a primit un viu impuls din partea psihologilor. Problema fundamentală rămîne determinarea raporturilor care există între lumea aparentă şi lumea reală: fiind dat ceea ce se vede, trebuie determinat ceea ce există de fapt.

În particular, s-a arătat că lumea aparentă este mult mai mică decît lumea reală şi că prin urmare contractarea, măsurată în direcţia unei raze vizuale prin raportul dintre lungimea unui segment aparent perpendicular pe această rază şi cea a segmentului real corespunzător, rămîne apropiată de unitate pentru o distanţă de vreo 20 de metri din faţa observatorului, dar apoi descreşte pentru a se anula la o distanţă egală cu raza aparentă a boltei cereşti. Acest raport fiind mai mic pe direcţia verticală, rezultă o contracţie mai sensibilă în această direcţie. Aceste numeroase aparenţe şi iluzii optice sînt explicate de mecanismul reprezentării psihice a lumii reale.

Percepţia profunzimii, a reliefului, a mişcării imaginilor psihice, a constituit obiectul unor importante cercetări. Aceeaşi afirmaţie este valabilă în privinţa percepţiei culorilor şi a variaţiilor de culoare sub efectul anumitor factori, structura spectrală a radiaţiei incidente rămînînd invariabilă. Dar aceste probleme speciale nu pot fi nici acum considerate rezolvate. Aceasta se datoreşte în parte faptului că aspectul psihologic al vederii a fost mult timp neglijat, în timp ce o bună parte a cercetărilor actuale este consacrată îndepărtării prejudecăţilor vechi asupra naturii pseudo-fizice a anumitor fenomene. Această activitate critică a avut rezultate fericite, scoţînd în evidenţă în special unele divergenţe adesea importante ce există între dimensiunile şi distanţa imaginilor observate şi a imaginilor calculate.

PROGRESE ÎN DOMENIUL OCHELARILOR. Legaţi de fiziologia ochiului, ochelarii sînt destinaţi corijării sistemului optic al acestui organ, în aşa fel încît să permită o reprezentare psihică mai exactă şi mai particularizată a lumii reale.

La începutul secolului al XX-lea, tehnica ochelarilor era în progres, dar măsurarea vederii, confecţionarea lentilelor şi fabricarea ochelarilor păstrau încă un caracter foarte artizanal. Deşi încorporate teoretic în diagrama lui Tscherning, lentilele lui Wollaston şi cele ale lui Ostwalt erau puţin utilizate. Materialul era constituit din lentile izocele, biconcave sau biconvexe, economice şi uşor de fabricat. Lentilele speciale, sferocilindrice, prismatice, bifocale, sau colorate în toată masa sticlei, erau încă foarte rare şi puţin folosite.

Măsurarea vederii, adică determinarea cantitativă a ametropiilor corectabile prin intermediul lentilelor, era realizată cu totul grosier şi se limita la ametropiile cele mai simple. Dar, în primul sfert al secolului al XX-lea, lentilele de tip Ostwalt s-au impus atenţiei deoarece permiteau extinderea corecţiei optice la un domeniu mai vast. În anii următori, mărirea diametrului monturilor ochelarilor a permis punerea în valoare a acestei proprietăţi a noilor lentile. În acelaşi timp, practica măsurării vederii s-a perfecţionat, iar corectarea astigmatismului — efectuată pînă atunci doar în cazuri excepţionale — a atins o precizie neaşteptată. Folosirea lentilelor speciale, sferocilindrice sau chiar inelare, s-a răspîndit rapid. Lentilele bifocale pentru corectarea presbiopiei au fost fabricate şi folosite cu un succes din ce în ce mai mare, iar utilizarea lor s-a răspîndit. S-au construit şi lentile trifocale, sau chiar cu variaţie continuă a puterii optice, pentru a reda comod vederea de aproape şi de departe, analoagă celei a persoanelor care posedă acomodarea. Lentilele selective, corective sau nu, au cunoscut o dezvoltare a cărei amploare a surprins pe specialişti. Pentru a satisface gustul publicului şi pentru a realiza o protecţie eficace contra radiaţiilor periculoase, sau doar neplăcute (ca radiaţiile ultraviolete), s-au multiplicat tipurile de lentile colorate în toată masa sticlei cu o mare varietate de culori şi de benzi de absorbţie foarte diferite. Fabricarea delicată a lentilelor placate prin lipirea unei pelicule de sticlă colorată pe o lentilă incoloră a permis evitarea inconvenientului unei diversităţi de coloraţii şi de transparenţe în cazul lentilelor de putere mare. În sfîrşit, metoda depunerii moleculare a substanţelor colorante în vid înaintat a permis noi progrese tehnice. Aşa se face că unele dintre lentilele ochelarilor contemporani sînt adevărate capodopere, prin importanţa cercetărilor ştiinţifice pe care le-au stimulat şi prin diversitatea perfecţionărilor tehnice al căror obiect au fost. Semnalăm în sfîrşit şi introducerea lentilelor de contact (L. Heine, 1931; J. Dallos, 1933 etc.).

REORGANIZAREA FOTOMETRIEI ŞI COLORIMETRIEI. În cursul secolului al XX-lea fotometria a fost în întregime reorganizată, ceea ce a constituit o sarcină foarte grea deoarece definirea etalonului fundamental, a mărimilor fundamentale şi a unităţilor de măsură a necesitat cercetări îndelungate şi mai multe reforme succesive. În domeniul experimental, fotometrele clasice, care foloseau ochiul omenesc ca receptor, au fost treptat înlocuite prin fotometre cu celulă fotoelectrică. Anumite celule pot răspunde la toate radiaţiile care impresionează ochiul omenesc; nici una nu are o reacţie comparabilă cantitativ cu cea a ochiului, dar adăugarea unor filtre optice corectoare permite obţinerea unei reacţii la radiaţiile optice (şi numai la ele) foarte apropiată de cea căutată. Acest rezultat a făcut fotometria mai precisă şi mai practică şi a extins domeniul aplicaţiilor sale. Dar acest procedeu fizic şi convenţional neglijează aspectul fizio-psihologic al fenomenului vederii şi, în particular, binecunoscutul proces al adaptării retinei la obscuritate sau la iluminare, care permite unui observator să poată avea diferite impresii de iluminare în timp ce un fotometru dă valori egale.

Remarci analoage pot fi făcute şi referitor la colorimetrie. În cursul ultimelor decenii au fost stabilite numeroase convenţii internaţionale pentru măsurarea culorii. Desigur culoarea adevărată nu poate fi măsurată prin metode fizice; acest element psihic diferă de la un observator la altul, iar pentru un acelaşi observator, de la un moment la altul sau de la un ochi la altul. Dar, pentru numeroase aplicaţii este utilă măsurarea condiţiilor fizice care permit vederea unor culori date de către un ochi mediu. Cercetările efectuate în această direcţie au arătat că vederea culorilor depinde de trei parametri.

Aceştia pot fi definiţi în moduri diferite: fie prin trei culori fundamentale, care permit reproducerea fiecărei culori prin amestecarea lor în proporţii convenabile; fie prin terna de luminanţă, tonul de culoare şi de saturaţie; fie, în sfîrşit, prin cele trei coordonate X, Y, Z, a căror sumă este egală cu unitatea — de unde rezultă că doar două sînt independente — şi care definesc o culoare printr-un punct situat într-un spaţiu cu două dimensiuni, triunghiul culorii.

Pe plan experimental, vechile colorimetre care foloseau ochiul observatorului ca receptor au fost treptat înlocuite cu instrumente cu celulă fotoelectrică, supuse unor criterii analoage celor folosite în fotometrie, adică limitîndu-se la măsurarea convenţională a condiţiilor fizice în care un ochi mediu ar putea vedea o culoare dată.

NOUA OPTICĂ TEHNICĂ. Secolul al XX-lea a fost martorul realizării unor progrese considerabile în optica tehnică. Această tehnică — foarte delicată — se bazează pe criterii pur raţionale şi ştiinţifice.

Primele lunete astronomice au fost construite la începutul secolului al XVII-lea de către fabricanţii de ochelari, care au folosit în acest scop singurele lentile pe care le cunoşteau şi pe care ştiau să le construiască, lentilele de ochelari. Rezultatele obţinute au fost mediocre, mărirea instrumentelor obţinute neputînd depăşi cifra trei; la măriri mai mari, imaginile erau extrem de deformate şi neclare.

Galilei a fost primul care a înţeles necesitatea perfecţionării acestei tehnici; abordînd problema în mod ştiinţific, el a extins mărirea lunetei astronomice pînă dincolo de 30 de ori. Puţin mai tîrziu a luat naştere noua tehnică a „opticii de precizie". Torricelli a realizat în acest domeniu progrese remarcabile. Totuşi, timp de două secole şi jumătate s-a continuat să se lucreze cel mai adesea la întîmplare, pe baza unor observaţii empirice şi a unor „secrete" ale meşterilor. Chiar după primele succese ale lui Dollond, cînd s-au realizat sisteme optice acromatice prin combinarea unor sticle optice diferite, flint şi crown, fabricarea acestor sticle a rămas tot empirică, foarte neregulată şi costisitoare.

Doar în a doua jumătate a secolului al XIX-lea, studiile lui Léon Foucault şi apoi cele ale lordului Rayleigh au condus la precizarea elementelor necesare pe de o parte la obţinerea unor suprafeţe foarte apropiate de cele pe care teoria le definea în termeni geometrici, iar pe de alta, la omogenitatea pastei de sticlă destinate opticii de precizie. Aceste studii nu au condus totuși la un rezultat logic decît în secolul al XX-lea; s-a demonstrat, într-adevăr, că forma suprafețelor diferitelor piese optice și regularitatea mediilor traversate trebuie să asigure o constanță a drumului optic pentru diferite unde cu o variație totală mai mică decît o fracțiune din lungimea de undă, ceea ce situează toleranțele regularității suprafețelor în jurul a 0,1 μm.

Astfel se explică dificultatea întîlnită de către tehnicienii secolelor trecute, care trebuia să obțină suprafețe cu o atît de mică toleranță fără a avea măcar o idee aproximativă despre ea și, mai ales, fără a putea determina practic deviațiile eventuale și corecțiile ce trebuia aduse. În cursul ultimelor decenii au fost însă puse la punct metode teoretice și procedee experimentale care au permis constructorilor să aprecieze cu rapiditate și cu precizie atît calitatea sticlei optice, cît și corecția unor suprafețe anumite și calitățile de ansamblu ale sistemului optic obținut. Aceste rezultate importante decurg din aplicarea regulilor teoriei undelor și din folosirea fenomenelor de interferență, de difracție și de polarizare. Aceste procedee permit realizarea sistemelor optice cu o mare economie de timp și de muncă și cu o cvasi-certitudine de obținere a ceea ce se numește „perfecțiunea optică“.

Se demonstrează, într-adevăr, că dacă un sistem optic este construit după aceste reguli, cu precizia corespunzătoare, distribuția energiei în imaginea calculată este comparabilă cu cea care s-ar obține cu un sistem ideal, eventualele diferențe fiind mascate de difracția și de structura însăși a radiației. Faptul că întreaga producție actuală a opticii de precizie este realizată practic cu această perfecțiune optică a avut urmări importante în numeroase domenii ale cercetării științifice.

În sfîrșit, trebuie să semnalăm faptul că mașinile electronice de calcul aduc un sprijin prețios calculelor optice și proiectării sistemelor optice complexe și de randament înalt; ele permit, într-adevăr, calculul sistemelor prevăzute cu caracteristici ce nu puteau fi luate în considerare pînă în prezent, datorită complexității calculelor numerice pe care le necesita studiul lor.

STICLA OPTICĂ ȘI STRATURILE SUBȚIRI. Progresele realizate în fabricarea sticlelor optice au contribuit în mod considerabil la realizarea unor sisteme optice din ce în ce mai puternice. Folosirea unor creuzete mari de platină a permis îmbunătățirea calitativă și cantitativă a producției de sticlă optică, justificînd astfel importantele cheltuieli pe care le impune folosirea unor materiale atît de prețioase. Aceasta a permis, de asemenea, obținerea unor sticle noi, în particular, sticle cu lantan, înzestrate cu caracteristici de refracție și de dispersie neîntîlnite mai înainte; în acest mod s-au obținut sticle al căror indice de refracție este apropiat de cel al diamantului.

Deși duritatea și rigiditatea lor insuficientă nu le permite încă să înlocuiască toate sticlele optice, diferitele materiale plastice prezintă în anumite cazuri avantaje indiscutabile.

Utilizarea lor este dealtminteri pe cale de dezvoltare: anumite rășini sintetice sînt deja folosite, pe scară largă, la producția sticlelor pentru ochelari, ușoare, foarte transparente şi incasante. Anumiţi compuşi organici, numiţi „sticle organice", sînt foarte interesanţi, deoarece prezintă o rezistenţă la zgîriere superioară celei a tuturor materialelor plastice transparente folosite pînă acum.

Un procedeu care a dat deja rezultate strălucite, deşi nu şi-a epuizat încă posibilităţile, este cel al depunerii de pături subţiri prin evaporare moleculară în vid.

Aplicaţiile sale contemporane se pot rezuma astfel:

a) *Metalizări de toate tipurile.* S-a observat marele interes pe care îl prezintă depunerea de straturi foarte subţiri de aluminiu metalic pe suprafeţe destinate să fie folosite drept oglinzi, fără sticle anterioare. Toate marile oglinzi ale telescoapelor (reflectoare) astronomice contemporane sînt aluminizate prin această metodă. Faptul că este foarte uşor să se regleze grosimea straturilor depuse, permite obţinerea unor lame semitransparente, al căror factor de reflexie este într-un raport dat cu factorul de transmisie.

b) *Tratamente antireflectante.* Există posibilitatea depunerii la suprafaţa unei lentile sau a unei lame de sticlă a unui strat subţire de grosime convenabilă şi cu indice de refracţie mic, astfel încît să se reducă considerabil procentul radiaţiilor reflectate de această suprafaţă; se elimină astfel una dintre cauzele cele mai grave de pierderi ale fluxului radiant în instrumentele optice, mărindu-se astfel mult randamentul fotometric.

c) *Depunere de straturi multiple.* Acest procedeu permite obţinerea unor rezultate surprinzătoare şi foarte utile: se obţin suprafeţe super-reflectante, cu o putere de reflexie apropiată de 100%; se obţin oglinzi dicroice, care reflectă toate radiaţiile de lungime de undă superioară unei anumite limite (aleasă după dorinţă) şi care lasă să treacă radiaţiile cu lungimi de undă inferioare acestei limite. Se construiesc filtre cu benzi de transparenţă de o anumită lărgime — pînă la cele numite monocromatice şi care nu lasă să treacă decît o bandă de lungime de undă doar de cîţiva milimicroni lărgime — plasată într-o regiune oarecare a spectrului, aleasă în prealabil.

Depunerea de straturi subţiri prin evaporare moleculară în vid a devenit astăzi o tehnică curentă.

TRECERE ÎN REVISTĂ A PRINCIPALELOR APLICAŢII ALE OPTICII. Ne vom mărgini să dăm cîteva indicaţii semnificative asupra dezvoltării adevăratelor instrumente optice, adică cele care sînt destinate să amplifice aptitudinea vizuală a ochiului omenesc. Trebuie să recunoaştem că fotografia şi fotoelectricitatea au înglobat numeroase instrumente care în trecut funcţionau datorită ochiului. În domeniile fotometriei şi colorimetriei, instrumentele de vedere au fost astfel aproape în întregime eliminate în favoarea instrumentelor fotoelectrice.

În domeniul instrumentelor telescopice, observarea vizuală a fost în mare parte înlocuită prin fotografie, care, datorită posibilităţii de prelungire a timpului de expunere, permite acumularea radiaţiilor foarte slabe emise de aştrii cei mai depărtaţi, ceea ce reprezintă o calitate pe care ochiul nu o posedă. Nu putem să nu amintim că marele telescop de la Mount Palomar, prevăzut cu o oglindă de 200 inci (aproximativ 5 m) diametru, reprezintă o capodoperă a tehnicii optice a secolului al XX-lea. Este vorba de o operă uriaşă care nu va putea fi depăşită mult timp (vezi p. 522).

O altă inovaţie instrumentală foarte importantă în astronomie a constituit-o folosirea lamei asferice a lui Bernhard Schmidt (1930).

Este vorba de o lamă specială de sticlă, al cărei profil este calculat pentru a corecta aberaţia sferică a unei oglinzi concave sferice care primeşte fasciculele de radiaţii luminoase paralele provenind de la aştri. Această lamă este plasată aproape de centrul de curbură al oglinzii, deşi concentrarea radiaţiilor are loc în planul focal. Cu acest dispozitiv, căruia i-au fost aduse anumite modificări — cum sînt cele ale lui Maksutov (1941) şi Colacevici (1943) — s-au realizat instrumente cu o luminozitate deosebit de mare, adică înzestrate cu o mare deschidere unghiulară şi capabile, în acelaşi timp, să furnizeze imagini satisfăcătoare într-un domeniu mult mai întins decît oglinzile parabolice clasice. Instrumentele prevăzute cu lama lui Schmidt sînt astăzi folosite în toate observatoarele astronomice.

Printre instrumentele derivate din luneta astronomică trebuie citat telemetrul monostatic, ale cărui remarcabile calităţi de sensibilitate şi de precizie se manifestă în condiţiile cele mai dificile de utilizare cum sînt cele de pe navele de război. Trebuie, de asemenea, menţionat şi periscopul, care permite submarinelor să rămînă în contact optic cu suprafaţa cînd sînt submerse pînă la 10 m.

În domeniul topografiei, instrumentele moderne cu autonivele permit cîştigarea unui timp preţios prin automatizarea activităţii de punere în staţie, fără nici o pierdere în precizie. Datorită progreselor construcţiei mecanice şi mai ales a folosirii unei distanţe focale mult mai mici şi a unor obiective cu diametre mult mai mari, care permit focalizări cu o mai mare precizie optică, instrumentele moderne sînt mult mai uşoare şi mai puţin voluminoase decît cele din secolul trecut, ceea ce reprezintă calităţi importante pentru aparate destinate să fie transportate frecvent pe distanţe mari.

În domeniul microscopiei, perfecţionările tehnice obţinute în calculul obiectivelor şi în realizarea întregii părţi optice au permis atingerea maximului de posibilităţi, adică limita impusă de lungimea de undă a radiaţiilor optice. Această limită a fost depăşită de microscopul electronic, dar acest instrument foloseşte fenomene care nu au nici o legătură cu domeniul opticii[1]. Totuşi, în domeniul microscopiei optice s-au realizat progrese de netăgăduit; dacă nu s-a putut depăşi limita corespunzătoare lungimii de undă, s-au putut în schimb lărgi condiţiile de utilizare a acestui instrument.

Inovaţia cea mai interesantă în această direcţie o constituie observarea în *contrast de fază* pe care olandezul F. Zernike a introdus-o în microscopie (1933— 38).

În tubul microscopului, direct sub obiectiv, este plasată o lamă, numită de fază, pe care a fost depus, prin evaporare moleculară în vid, un strat subţire capabil să întîrzie cu o semilungime de undă o parte din undele care participă la formarea imaginii în instrument. Dacă se studiază un preparat care prezintă o transparenţă uniformă, dar o neomogenitate optic sensibilă (ca de exemplu un preparat care conţine germenii vii şi necoloraţi), în timp ce în absenţa lamei de fază nu se observă nimic, cînd această lamă intră în acţiune orice neomogenitate mică devine vizibilă. În acest mod se pot studia preparate care conţin germenii vii fără să fie necesară utilizarea tehnicii colorării chimice, necesară pentru a face vizibili aceşti germeni, în cazul observării obişnuite.

---

[1] A se vedea în legătură cu acest subiect studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 283—285).

O altă formă nouă de microscopie este cea numită microscopie interferenţială; ea derivă din cercetările lui Frederichs, Merton, Dyson etc.

Prin observare la microscop, se examinează deformările introduse de preparatul studiat în undele unui mic interferometru, deformări care sînt puse în evidenţă de franjele de interferenţă produse în acest instrument. Se pot obţine indicaţii utile asupra variaţiei indicelui de refracţie în diverse părţi ale preparatului şi se poate astfel deduce grosimea celulelor.

În acelaşi timp au fost studiate microscoape care, în loc să folosească obiective cu lentile, sînt înzestrate cu oglinzi concave, care reproduc astfel în mic structura telescopului de tip Cassegrain. Aceste microscoape s-au dovedit folositoare în studiul proceselor metalurgice, permiţînd observarea directă a substanţelor în timpul topirii lor. Alte tipuri de microscoape au permis să se observe ceea ce se întîmplă într-o centrifugă în timpul funcţionării. Acestea reprezintă aplicaţii pentru care nu se poate recurge la alte instrumente decît microscoapele optice.

În cursul secolului al XX-lea, în domeniul spectroscopiei am fost martorii înlocuirii aproape complete a observaţiilor cu ochiul liber prin spectrografie; cu atît mai mult cu cît radiaţiile interesante de studiat depăşesc adesea domeniul vizibil, extinzîndu-se în infraroşu şi ultraviolet.

Trebuie totuşi să amintim progresele considerabile datorate construirii reţelelor de difracţie cu blază, capabile să concentreze cea mai mare parte a energiei undei incidente într-o singură undă difractată, îmbunătăţind astfel luminozitatea spectroscoapelor cu reţea. Pe baza datelor opticii energetice, această posibilitate a reţelelor de difracţie a mărit considerabil randamentul lor. De fapt, numeroase instrumente, şi în special cele astronomice, care mai înainte trebuia să recurgă la prisme, din cauza luminozităţii prea slabe a reţelelor, folosesc astăzi reţele cu blază, care le conferă un mare avantaj din punct de vedere al dispersiei şi al puterii de rezoluţie.

Această rapidă trecere în revistă a numeroaselor contribuţii aduse în domeniul opticii de la începutul secolului al XX-lea scoate în evidenţă progrese însemnate; în domeniul teoretic, o profundă reorganizare i-a definit limitele şi posibilităţile într-un mod mult mai raţional; în acelaşi timp, au fost realizate progrese foarte importante în cunoaşterea funcţionării ochiului omenesc, precum şi în domenii foarte variate ale tehnicii şi instrumentaţiei.

CAPITOLUL VI
Spectroscopia

Legăturile dintre radiaţie şi materie au jucat, în timpul primului sfert al secolului al XX-lea, un rol istoric fundamental în dezvoltarea fizicii moderne, deoarece pe baza lor s-a extins şi s-a consolidat noţiunea de legi cuantice, imaginate de Planck în ultimul an al secolului al XIX-lea, care guvernează structura cristalelor, a moleculelor, a atomilor, şi chiar a nucleelor lor şi furnizează cheia cunoaşterii lumii înconjurătoare.

DOMENIUL RADIAŢIILOR ELECTROMAGNETICE ŞI STUDIUL SĂU. Se ştie (vezi vol. III, p. 172) că în secolul al XIX-lea spectroscopia a extins dincolo de cele două limite ale spectrului vizibil experienţa fundamentală a lui Newton, care dovedea descompunerea luminii albe în radiaţii monocromatice. Maxwell reunise toate aceste radiaţii în cadrul teoriei electromagnetice a luminii, căreia H. Hertz i-a adus confirmarea experimentală: fiecare radiaţie era caracterizată de frecvenţa ν a cîmpului electric al unei unde electromagnetice sinusoidale, sau de lungimea de undă $\lambda = c/\nu$ a acestei unde în vid, în care toate radiaţiile se propagă cu viteza c. În ciuda acestei unităţi de principiu, insuficienţele tehnicii au lăsat să rămînă goluri între undele hertziene şi infraroşu şi nu permiteau studiul ultravioletului decît peste $\lambda = 0{,}2$ μm. Existau îndoieli dacă radiaţiile X descoperite de Röntgen în 1895 erau de natură electromagnetică.

Progresele tehnice continue, legate de perfecţionarea sticlelor optice, de fabricarea cristalelor sintetice, de perfecţionarea reţelelor de difracţie, de dezvoltarea industriei vidului, a fotografiei şi a electronicii, au extins domeniul radiaţiilor explorate astăzi fără întrerupere de la frecvenţa zero pînă la $10^{19}\mathrm{s}^{-1}$. Rubens şi Wood au izolat, în 1910, o radiaţie cu lungimea de undă de 344 μm în radiaţia infraroşie. Nichols şi Tear au arătat în 1922 că undele produse în această regiune spectrală prin mijloace optice sau radioelectrice pot fi detectate cu acelaşi aparat de măsură (care transformă energia radiantă în căldură). La cealaltă extremitate a spectrului, Schumann (1901) a reuşit să fotografieze radiaţiile ultraviolete emise de scîntei pînă la 0,12 μm, cu ajutorul unui spectrograf cu lentile conţinînd fluor; Lyman (1906) a continuat explorarea pînă spre 0,05 μm cu reţele cu reflexie în vid; Millikan (1920) a atins 0,01 μm (100Å) prin perfecţionarea aceloraşi metode.

Locul radiaţiilor X printre radiaţiile electromagnetice a fost stabilit după ce M. von Laue, Friedrich şi Knipping (1912) au obţinut difracţia lor pe atomii unui cristal şi mai ales după ce lungimea lor de undă a fost măsurată cu ajutorul unei reţele de către Compton şi Doan (1925). Acestea acoperă un domeniu cuprins între aproximativ 0,1 Å (100 unităţi X) şi 300 Å, unde detecţia se efectuează prin metodele lui Millikan (Holweck, 1926).

Spectrul radiaţiilor X se prelungeşte spre lungimile mici de undă prin cel al radiaţiilor emise de substanţele radioactive. S-a reuşit măsurarea, cu ajutorul reţelelor, a unor lungimi de undă de 0,016 Å.

Progresele ulterioare au mărit precizia măsurării frecvenţei şi a intensităţii radiaţiilor, au îmbunătăţit fineţea separării lor, au mărit comoditatea producerii şi detectării lor în vederea studiului proprietăţilor materiei faţă de ele.

Instalaţiile de studiu cuprind în general o sursă de radiaţii, un separator de radiaţii şi un receptor.

În domeniul undelor hertziene, sursa emite cel mai adesea o radiaţie monocromatică. Progresele efectuate în producerea unor frecvenţe mai mari sînt descrise în altă parte[1]. Detectorul foloseşte tuburi electronice pentru undele mai lungi de un decimetru şi contacte metal-semiconductor pentru undele centimetrice şi mai mici. Curentul detectat este amplificat.

Studiul infraroşului, care se întinde pe opt ordine de mărime necesită concursul mai multor tehnici. Se folosesc aproape în exclusivitate surse de radiaţie termică. Separarea radiaţiilor este efectuată cu prisme din diverse cristale artificiale, între 1 şi 50 μm, sau cu reţele cu profil prestabilit[2] pentru întreg spectrul. Sub 2 μm, receptorul poate fi o emulsie fotografică special preparată, iar sub 3 μm se pot folosi elemente a căror rezistenţă electrică descreşte sub influenţa radiaţiei; o utilizare mai generală cunosc receptoarele care transformă mai întîi energia radiantă pe care o absorb, în căldură, ca bolometrul Langley, radiometrul Crookes şi Nichols, pilele termoelectrice, receptorul pneumatic Golay.

Metodele spectrale folosite în spectrul vizibil se apropie astăzi de cele folosite în ultraviolet, datorită renunţării folosirii ochiului ca receptor şi înlocuirii lui fie prin emulsii fotografice, fie prin receptori fotoelectrici (celule fotoemiţătoare, fotomultiplicatori, pile fotovoltaice). Drept surse, se folosesc radiaţiile termice, descărcările electrice în gaze, scînteia şi arcul electric între corpuri solide, fluorescenţa. Folosirea, drept aparate de dispersie, a reţelelor cu profil special, rivalizează cu cea a prismelor. Spectrometrele interferenţiale (vezi vol. III, p. 176) şi, în particular, interferometrul Fabry-Pérot, perfecţionat prin folosirea depunerii de straturi dielectrice[3] permite separarea unor radiaţii foarte apropiate. Se pun mari speranţe în folosirea transformării Fourier la analizarea rezultatelor furnizate de interferometrul Michelson (vol. III, fig. 6, p. 199).

Spectrometria radiaţiilor X şi γ reprezintă aportul secolului al XX-lea. Producerea radiaţiilor X are loc în tuburi Coolidge prin ciocnirile electronilor emişi în vid, de un filament încălzit, cu un anticatod metalic menţinut la un potenţial pozitiv ridicat. Radiaţia conţine un spectru continuu şi unul de linii mai intense, care caracterizează natura anticatodului. Separarea radiaţiilor se efectuează cu spectrografe cu cristale cu distanţe reticulare cunoscute, prin folosirea relaţiei lui Bragg[4]. Drept receptor se foloseşte emulsia fotografică sau camera de ionizare[5].

---

[1] Vezi studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 273–279, 319–322).
[2] Vezi studiul lui V. Ronchi (p. 216).
[3] Vezi studiul lui V. Ronchi (p. 213, 214).

FOTONUL. Studiul relaţiilor foarte generale dintre materie şi lumină, care se manifestă în radiaţia termică a corpului negru[6], a condus pe Planck (1900) la ideea că energia radiantă ar fi emisă în mici cantităţi finite, sau cuante E, care satisfac relaţia

$$E = h\nu \tag{1}$$

unde ν reprezintă frecvenţa radiaţiei iar h, *constanta lui Planck*, egală cu $6{,}52 \cdot 10^{-34}$ J·s.

Einstein a precizat această idee, cuantificînd atît vibraţiile atomice în cadrul teoriei căldurii specifice a solidelor (1907), cît şi energia radiantă, în cadrul teoriei efectului fotoelectric (1905). Cuantele de energie radiantă, numite *fotoni*, satisfac relaţia (1). În acelaşi timp, Einstein, a subliniat dificultatea de a împăca noţiunea de fotoni cu cea a repartiţiei continue de energie pe frontul de undă, care rezultă din teoria electromagnetică.

Producerea radiaţiilor X pare să fie, din punct de vedere cuantic, reciproca efectului fotoelectric. Frecvenţa maximă a radiaţiilor X emise verifică relaţia (1), în care energia maximă E a electronilor este determinată de diferenţa de potenţial dintre catod şi anticatod (Duane şi Hunt, 1915).

Un alt fenomen, efectul Compton (1922), avea să dovedească că fotonul are, pe lîngă energie, şi o cantitate de mişcare $p = h\nu/c$ (c fiind viteza luminii) şi că acţiunea unei radiaţii X asupra unui electron poate fi tratată ca ciocnirea a doi corpusculi. Totuşi, relaţia $p = E/c$ dintre energie şi cantitatea de mişcare reprezintă o consecinţă a teoriei electromagnetice; ea fusese verificată încă din primii ani ai secolului nostru prin experienţele asupra presiunii radiaţiei (Lebedev, Nichols).

Pentru a realiza progrese în cunoştinţele noastre asupra dublului aspect, corpuscular şi ondulator, al luminii, a fost necesar să se aştepte pînă ce un dualism analog a fost descoperit şi pentru materie.

ÎNCEPUTURILE SPECTROSCOPIEI ATOMICE. În primii ani ai secolului nostru a continuat descifrarea răbdătoare a spectrelor de emisie atomice, pe calea deschisă de Bunsen şi Kirchoff în 1859. Bazîndu-se pe aspectul liniilor spectrale, pe variaţiile numărului şi intensităţii lor cu condiţiile de emisie, s-a încercat clasificarea acestor linii în serii, prin reprezentarea frecvenţelor cu ajutorul unor formule empirice de tipul celor pe care Balmer le-a propus în 1885 la clasificarea liniilor vizibile ale hidrogenului:

$$\lambda = Am^2/(m^2-4), \tag{2}$$

---

[4] Vezi studiul lui J. Orcel (p. 474).
[5] Vezi studiul lui J. Teillac (p. 334).
[6] Vezi studiul lui L. de Broglie (pp. 141—143).

unde A este o constantă, iar m — un număr întreg mai mare ca 2. Un prim fir conducător a fost dat de *principiul de combinare* al lui Ritz (1908) prin observarea faptului că liniile tuturor seriilor hidrogenului au lungimi de undă date de formula

$$1/\lambda = R(1/n^2 - 1/m^2), \tag{3}$$

unde R este o constantă universală, constanta lui Rydberg, n — un număr întreg care caracterizează o serie, iar m — un număr întreg mai mare ca n, care caracterizează fiecare linie din serie. Pentru $n = 2$ se regăseşte formula (2). Printr-o generalizare care a primit curînd confirmarea experimentală, Ritz a admis faptul că frecvenţa unei linii spectrale emise de fiecare tip de atom este dată de diferenţa a doi *termeni spectrali* caracteristici atomului respectiv. Numărul termenilor este cu mult inferior celui al liniilor a căror clasificare se poate face cu ajutorul termenilor. Această activitate de clasificare nu a fost încă terminată; astfel spectrul fierului conţine mai multe mii de linii numai în porţiunea sa vizibilă.

Teoria lui Lorentz (vol. III, pp. 195, 266) lega emisia şi absorbţia luminii de mişcarea accelerată a electronilor, despre care se recunoscuse că reprezintă constituenţi ai oricărei substanţe. În gazele şi vaporii dielectrici, aceşti electroni nu sînt liberi; dar polarizarea acestor medii de către cîmpurile electrice arată că electronii se pot deplasa în atomi şi în molecule. S-a asimilat, din această cauză, atomului radiant o minusculă antenă, deoarece electronii efectuează obligatoriu mişcări periodice, atomul fiind stabil, iar radiaţiile emise au frecvenţele mişcărilor armonice a căror suprapunere formează mişcarea periodică. În 1902, J.J. Thomson a propus un model de atom care să satisfacă legile mecanicii şi electrodinamicii clasice.

Teoria electronilor a condus la studiul acţiunii cîmpurilor electrice şi magnetice asupra emisiei radiaţiilor. Variaţiile frecvenţei liniilor spectrale sub influenţa unui cîmp magnetic, descoperite de Zeeman în 1896 (vol. III, p. 268) şi interpretate de Lorentz, s-au dovedit cel mai adesea prea complicate (efectul Zeeman anomal, efectul Paschen-Back, 1912) pentru a fi explicate de această teorie, ca şi variaţiile produse de un cîmp electric (efectul Stark-Lo Surdo, 1913).

În 1911, experienţe de difracţie a particulelor pe materie[7] au condus pe Rutherford la respingerea modelului atomic static al lui Thomson şi la înlocuirea lui cu un model dinamic, în care electronii se rotesc în jurul unui nucleu pozitiv, ca planetele în jurul Soarelui. Dar acest model se lovea de mari dificultăţi în teoria clasică a radiaţiei: energia radiantă fiind provenită din energia mecanică a electronului, rezulta că acesta trebuia să-şi mărească treptat frecvenţa de revoluţie, emiţînd radiaţii a căror frecvenţă trebuia să crească, de asemenea, continuu — în timp ce liniile spectrale emise de gaze sînt bine definite — şi să cadă în final pe nucleu: atomul ar fi fost deci instabil.

---

[7] Vezi studiul lui J. Teillac (pp. 335—338).

DEZVOLTAREA VECHII TEORII A CUANTELOR. Remarcînd că formula (3) se poate scrie

$$h\nu = hc/\lambda = (hcR/n^2) - (hcR/m^2) = E_n - E_m, \tag{4}$$

Bohr a admis că E_n şi E_m reprezintă energiile celor două *stări staţionare* ale atomului lui Rutherford, stări dinamice în care totuşi atomul nu radiază, în ciuda legilor electrodinamicii clasice; emisia sau absorbţia unui foton cu energia $E = h\nu$, dată de (4), ar avea loc numai cînd electronul trece de la o traiectorie staţionară la alta. În acest fel, energia electronilor din atomi este cuantificată.

Deceniul următor a fost martorul confirmării şi perfecţionării acestor idei fundamentale. J. Franck şi H. Hertz (1913), prin bombardarea atomilor unui gaz cu electroni de energie reglabilă, au obţinut dovada directă a faptului că această energie nu poate fi absorbită de un atom decît în cantităţi discrete, iar prin pierderea unei astfel de cantităţi ΔE, atomul emite o radiaţie de frecvenţă $\nu = \Delta E/h$. Fenomenele de *rezonanţă optică* (Wood, 1904), care constau în absorbţia selectivă în atomii unui gaz, a radiaţiilor de frecvenţă strict determinată dintr-un fascicul luminos şi reemiterea lor în tot spaţiul, se explică uşor în teoria lui Bohr. Moseley a creat în 1913 spectroscopia radiaţiilor X şi a arătat că frecvenţele cele mai înalte ale spectrului X emis de fiecare element ascultă de o formulă analoagă celei a lui Balmer. Kossel (1916) a interpretat formula lui Moseley la fel cum a făcut Bohr cu cea a lui Balmer. Sommerfeld (1916) a extins cuantificarea la mişcările atomice cu mai multe grade de libertate.

Constantele acestor mişcări, aşa cum le defineşte mecanica clasică (energia, momentul cinetic şi proiecţia momentului cinetic pe o axă, dacă o astfel de axă fixă în spaţiu există, sînt mărimi cuantificate, multipli întregi ai constantei lui Planck. Traiectoriile posibile ale electronilor au devenit astfel mai variate, fiind necesar deci să li se aplice dinamica relativistă.

Încă de atunci au putut fi interpretate principalele caracteristici ale spectrelor optice ale atomilor alcalini, în a căror producere participă un singur electron. Structura fină a acestor spectre şi-a găsit explicaţia în momentul în care electronul a fost înzestrat cu un grad de libertate suplimentar, reprezentat iniţial ca o rotaţie sau *spin* (Uhlenbeck şi Goudsmit, 1925). În noua teorie efectul Zeeman normal se explica uşor. În 1916, Einstein a interpretat efectul Stark. În 1921, Landé a stabilit o formulă empirică care ţinea seamă de efectele Zeeman anomale.

Fenomene străine de spectroscopie şi-au adus aportul la descoperirile precedente sau au profitat de ele. Măsurarea căldurilor specifice la temperaturi joase a pus în evidenţă cuantificări ale mişcărilor atomice şi moleculare. Cuantificarea pe o axă în spaţiu şi-a găsit o confirmare directă în experienţele magnetice ale lui Stern şi Gerlach (1922). Compararea spectrelor elementelor a reprezentat un ghid în determinarea structurii lor electronice.

Ansamblul acestor rezultate şi al interpretării lor, care formează ceea ce se numeşte vechea teorie a cuantelor, îşi găseşte expresia culminantă în lucrarea lui Sommerfeld: *Atombau und Spektrallinien* (1919). Totuşi ea se lovea de dificultăţi: de exemplu, ea eşua în cazul interpretării spectrelor atomilor cu doi electroni optici, chiar şi pentru cel mai simplu — atomul de heliu, ca şi în cazul efectelor Zeeman anomale; desigur că ea păstra la bază atît postulatele cuantificării, cît şi legile mecanicii şi electrodinamicii clasice, formînd un amestec neraţional, în ciuda enunţării de către Bohr a *principiului de corespondenţă*, care arată că legile cuantice tind spre legi clasice cînd numărul de cuante ce intră în joc devine foarte mare.

MECANICILE CUANTICE. O teorie satisfăcătoare trebuia să permită deducerea legilor cuantice din principii mai fundamentale. Bazele unei noi mecanici, valabilă pentru atomi şi molecule, au fost stabilite pe două căi diferite. În direcţia deschisă de Heisenberg (1925) şi inspirată de o preocupare pozitivistă, s-a încercat eliminarea, din descrierea fenomenelor, a unui anumit număr de noţiuni a căror semnificaţie părea îndoielnică şi stabilirea de relaţii între mărimi pe cît posibil observabile: nivele de energie, frecvenţe şi intensităţi ale liniilor spectrale. Aceasta a condus la reprezentarea mărimilor respective prin matrici sau operatori, ale căror reguli de calcul fuseseră elaborate de Cayley la mijlocul secolului al XIX-lea (vol. III, p. 25), şi la fondarea unei *mecanici matriciale*, dezvoltată de Born şi Jordan şi, independent, de Dirac.

A doua cale spre o mecanică atomică îşi are originea în ideea lui L. de Broglie (1924) de a asocia oricărei particule în mişcare o undă a cărei lungime de undă λ este legată de cantitatea de mişcare p a particulei prin relaţia $\lambda = h/p$, urmînd deci un drum invers celui care a condus la atribuirea unei cantităţi de mişcare fotonului. Dezvoltarea acestei *mecanici ondulatorii* se datoreşte lui Schrödinger, care a dedus în 1926 ecuaţia generală satisfăcută de unda lui de Broglie. Ecuaţia lui Schrödinger este o ecuaţie analitică clasică. Aplicată la probleme simple, la care este posibilă reducerea studiului mişcării asupra unei singure particule (oscilatorul armonic, rotatorul cu două mase, atomul de hidrogen), ea admite soluţii riguroase în care intervin funcţii studiate de matematicienii secolului al XIX-lea şi care conduc pe o cale deductivă la toate condiţiile de cuantificare ce păreau pînă atunci arbitrare.

Astfel, electronul unui atom de hidrogen sau hidrogenoid posedă trei numere cuantice întregi: n (numărul cuantic principal), l (numărul cuantic azimutal) şi m (numărul cuantic magnetic), care se referă respectiv la cele trei constante ale mişcării. Un al patrulea număr cuantic, s, se referă la momentul cinetic de spin care, după cum a arătat Dirac în 1930, reprezintă o proprietate ce rezultă aplicînd electronului o ecuaţie analoagă celei a lui Schrödinger, dar satisfăcînd invarianţa relativistă.

În 1926, Schrödinger a demonstrat că mecanica matricială şi mecanica ondulatorie sînt echivalente. Ele sînt acum unite în cadrul unei *mecanici cuantice*, care explică în mod satisfăcător, în principiu, nu numai datele spectroscopiei, ci şi un mare număr de alte proprietăţi atomice şi moleculare. Astăzi, se dă adesea mecanicii cuantice o formă axiomatică (Dirac, von Neumann), comodă pentru învăţămînt dar care nu trebuie să ne facă să uităm originile sale empirice.

MECANICA CUANTICĂ ŞI CAUZALITATEA. Printre postulatele fundamentale de la care se poate pleca în expunerea mecanicii cuantice, figurează *relaţiile de* *comutare* ale lui Heisenberg, care sînt în strînsă legătură cu *principiul de incertitudine*, datorat aceluiaşi autor, şi din care rezultă că nu se pot niciodată atribui unui corpuscul, în acelaşi moment, atît o poziţie cît şi o stare de mişcare perfect determinate. Această limitare esenţială a cunoştinţelor noastre este legată de valoarea finită a constantei lui Planck. În limbajul mecanicii ondulatorii, principiul de incertitudine ia forma ideii de *complementaritate* (Bohr, 1927); o experienţă care scoate în evidenţă caracterul corpuscular al unui obiect lasă obligatoriu în umbră caracterul său ondulator. În sfîrşit, interpretarea funcţiei de undă, care intervine în ecuaţia lui Schrödinger, este următoarea: pătratul modulului acestei funcţii reprezintă, în fiecare punct şi în fiecare moment, probabilitatea ca o observaţie să permită localizarea corpusculului în acel punct şi în acel moment (Born, 1926). Acest dualism undă-corpuscul, incertitudinea şi probabilismul care îi sînt intim ataşate, nu împiedică mecanica cuantică să reprezinte o ştiinţă coerentă; totuşi ea nu satisface anumiţi fizicieni[8].

SPECTRELE ATOMILOR CU MAI MULŢI ELECTRONI. Din momentul în care avem de-a face cu mai multe particule, deşi ştim să obţinem adesea ecuaţia Schrödinger corespunzătoare, nu ştim să o rezolvăm riguros; în astfel de cazuri ne limităm la metode de aproximare. Cînd este vorba de electronii dintr-un atom, o aproximaţie satisfăcătoare constă în a considera că fiecare electron este supus unui cîmp central creat de nucleu şi de distribuţia medie a celorlalţi electroni *(cîmpul self-consistent* al lui Hartree, 1928).

La acest ordin de aproximare, numerele cuantice n, l, m, s, definite precedent, pot servi încă la definirea stărilor atomice, dar energia acestor stări nu depinde totuşi decît de numerele n şi l. Rămîne o diferenţă între cîmpul real şi cîmpul central. Într-o a doua aproximaţie, se ţine seamă de ea prin luarea în considerare a momentului cinetic orbital şi a momentului cinetic de spin al fiecărui electron ca vector ordinar (ceea ce mecanica cuantică nu permite cu rigurozitate). Apare astfel un *model vectorial* al atomului, căruia i se determină momentul cinetic total prin regulile compunerii vectorilor.

Pentru aceasta se poate proceda în două moduri. Primul constă în a compune, pe de o parte, momentele cinetice orbitale individuale pentru a obţine momentul cinetic orbital total, iar pe de alta, momentele cinetice de spin, care furnizează momentul cinetic total de spin, şi apoi în a obţine rezultanta acestor doi vectori: acesta reprezintă *cuplajul Russel-Saunders*, care se aplică la atomii uşori. În cea de-a doua metodă, se efectuează suma celor două momente cinetice relative la fiecare electron şi apoi cea a tuturor vectorilor astfel obţinuţi: acesta reprezintă *cuplajul jj*, valabil pentru atomi grei.

În sfîrşit, o ultimă aproximaţie ţine seamă de acţiunile reciproce dintre momentul cinetic orbital şi momentul cinetic de spin, ceea ce reprezintă *cuplajul spin-orbită* şi care separă în *multipleţi* nivelele de energie caracterizate precedent prin numerele n şi l şi care depind acum şi de numărul s.

Spectrul atomului de heliu a putut fi astfel interpretat, ceea ce a permis exprimarea corectă a acţiunilor reciproce a electronilor atomici (Heisenberg, 1926). Efectele Zeeman anomale şi formula lui Landé se explică, de asemenea, cînd se ţine seamă de faptul că raportul dintre momentul magnetic şi momentul cinetic nu are aceeaşi valoare pentru momentele orbitale şi pentru cele de spin.

---

[8] Vezi studiul lui L. de Broglie (pp. 151—154).

Un studiu critic amănunţit al spectrelor elementelor, care a arătat că anumite distribuţii electronice nu apăreau, a condus pe Pauli (1925) la enunţarea *principiului de excluziune* care îi poartă numele: nu există stări atomice în care doi electroni ar avea acelaşi ansamblu de patru numere cuantice n, l, m, s. Nu toate tranziţiile date de formula (3) sînt permise între două nivele de energie atomice oarecare. Există diferite *reguli de selecţie*, care restrîng variaţiile valorilor numerelor cuantice în cursul unei tranziţii date şi limitează numărul acestora din urmă. Mecanica cuantică permite, de asemenea, calculul probabilităţilor de tranziţie între două nivele care intervin în expresia intensităţii liniilor spectrale corespunzătoare.

Diverse proprietăţi ale nucleelor atomice (masa, momentele cinetic şi magnetic de spin) influenţează spectrele optice ale atomilor provocînd apariţia *structurii hiperfine* a numeroase linii spectrale (descompunerea în mai multe linii cu frecvenţe foarte apropiate).

SPECTROSCOPIA MOLECULARĂ. Spre sfîrşitul secolului trecut, s-a stabilit că spectrele de emisie sau de absorbţie ale anumitor gaze trebuia atribuite moleculelor şi nu atomilor lor constituenţi. Spectrele moleculare se întind din ultraviolet pînă în domeniul hertzian. În domeniile vizibil şi ultraviolet, aceste spectre conţin un număr de linii mult mai mare şi cu o distribuţie mult mai complicată decît spectrele atomice. Spectrele moleculelor formate din doi atomi sînt cele mai simple: liniile lor sînt adesea grupate în *benzi*. Încă din 1885, Deslandres a reprezentat distribuţia liniilor în benzi printr-o formulă empirică; ea joacă un rol la fel de fundamental ca şi formula (3) în studiul spectrelor atomice.

Progresele spectroscopiei în infraroşu au permis, la începutul secolului, descoperirea în infraroşul apropiat a unor spectre de benzi mai simple decît în ultraviolet (fig. 5), apoi în infraroşul depărtat (Czerny, 1925) şi în ultrahertzian (din 1940) a unor şiruri de linii aproape echidistante. Interpretarea corectă a acestor spectre a fost furnizată de mecanica cuantică. Nivelele de energie ale unei molecule sînt cuantificate ca şi cele ale unui atom, dar sînt mult mai numeroase. În prima aproximaţie (Born şi Oppenheimer, 1927) se poate considera energia E a stărilor staţionare ca sumă între energia electronică E_e, energia de vibraţie E_v a atomilor şi energia de rotaţie E_r a moleculei. Variaţiile lui E_r sînt cele mai

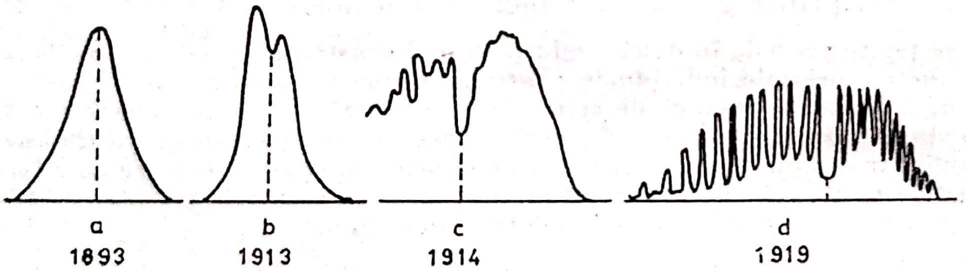


FIG. 5. UN EXEMPLU DE PROGRES ÎN SPECTROMETRIA DE INFRAROŞU (banda HCl în jurul valorii 3,58 m).

slabe. Ele dau naştere *spectrului de rotaţie pură*, ale cărui linii au frecvenţa cea mai joasă. Variaţiile energiei E_v sînt ceva mai importante; ele sînt însoţite de variaţii ale lui E_r, iar ansamblul liniilor corespunzătoare unei variaţii determinate ΔE_v formează o *bandă de vibraţie-rotaţie* (fig. 5*d*). În sfîrşit o variaţie cuantificată ΔE_e a energiei electronice este însoţită de variaţii ale energiilor E_v şi E_r; acesteia îi corespunde un *sistem de benzi electronice*, în care fiecare bandă se datoreşte unei variaţii determinate ΔE_v şi se descompune în linii, fiecare corespunzînd unei tranziţii de rotaţie ΔE_r. Există şi reguli de selecţie.

Spectrele moleculelor poliatomice sînt mai complicate decît precedentele, cu atît mai mult cu cît moleculele conţin mai mulţi atomi şi sînt mai puţin simetrice. Gruparea liniilor în benzi încetează adesea de a mai fi evidentă, ceea ce face dificilă analizarea acestor spectre. Această activitate este departe de a fi terminată chiar pentru moleculele cu compoziţie simplă şi cu structură simetrică.

Un ajutor preţios în studiul spectrelor de absorbţie moleculară îl aduc *spectrele de împrăştiere moleculară*.

Împrăştierea luminii în mediile cu impurităţi fine (suspensii, coloizi) a fost studiată de Tyndall (1868). Or, la scară moleculară orice mediu material este eterogen. În teoria lui Lorentz, cîmpul electric al unui fascicul luminos care traversează un astfel de mediu impune vibraţii forţate electronilor moleculelor; aceştia reemit lumină în toate direcţiile. Calculul arată că fracţiunea de lumină vizibilă împrăştiată de molecule este cu atît mai mare cu cît lungimea de undă este mai scurtă. Culoarea albastră a cerului se datoreşte împrăştierii luminii solare pe gazele din atmosferă (lordul Rayleigh, 1871). Cabannes (1913) a reuşit să studieze în laborator împrăştierea moleculară a luminii în gaze.

Analizînd radiaţia împrăştiată de corpuri pure iluminate cu lumină monocromatică, Raman a arătat, în 1928, că aceasta conţine nu numai radiaţia excitatoare, ci şi un ansamblu de radiaţii caracteristice spectrelor de vibraţie şi de rotaţie ale moleculelor.

CUANTIFICAREA RADIAŢIEI. Prin 1928 se recunoştea faptul că mecanica cuantică furnizează soluţii corecte pentru majoritatea problemelor de structură atomică. Dar teoria radiaţiei se găsea într-un stadiu mai puţin avansat, deşi ea servise ca model la începuturile mecanicii ondulatorii.

Cuantificarea cîmpului radiaţiei electromagnetice se datoreşte în special lui Dirac (1930), care a arătat că ecuaţiile lui Maxwell pot fi puse sub o formă analoagă cu cea pe care Hamilton o dăduse ecuaţiilor mecanicii clasice (vol. III, p. 110). Cîmpul electromagnetic, considerat că ar fi format din suprapunerea unor unde plane şi monocromatice, poate fi în acest caz cuantificat, ca şi mişcarea unui oscilator armonic. Această teorie cuantică a cîmpurilor a putut fi extinsă şi la alte cîmpuri decît cel al radiaţiei[9].

Existenţa unui dualism undă-particulă pentru radiaţie şi pentru materie nu trebuie totuşi să ne lase să uităm deosebirile importante care separă fotonii de corpusculii materiali. Primii sînt creaţi şi se anihilează în mod curent, spre deosebire de cei din urmă. Masa proprie a fotonilor este probabil nulă, în timp ce cea a corpusculilor tinde către o limită finită cînd energia lor cinetică tinde spre zero şi cînd corpusculii se pretează cel mai uşor la o observare individuală; fotonii cu o energie $h\nu$ foarte mică, nu se manifestă deloc individual, dar tocmai în acest caz aspectul ondulator al radiaţiei se manifestă mai puternic.

---

[9] Vezi studiul lui R. Nataf (pp. 381—393).

STATISTICILE CUANTICE. Deosebirile dintre fotoni şi anumiţi corpusculi, cum ar fi electronii, se manifestă cînd se studiază comportarea de ansamblu a acestor particule. Raţionamentele statistice, care au fost aplicate de lordul Rayleigh şi apoi de Planck la radiaţia corpului negru (vol. III, p. 301), au luat o nouă formă în mecanica cuantică.

O configuraţie macroscopică a unui sistem poate fi realizată prin distribuirea în mai multe moduri, microscopic distincte, a particulelor care constituie sistemul, între diferitele stări pe care fiecare configuraţie poate să le ia. Considerînd particulele drept puncte materiale, fiecare stare este definită prin 6 variabile: 3 coordonate de poziţie q şi 3 coordonate de impuls p, într-un spaţiu cu 6 dimensiuni numit *spaţiul fazelor*. Relaţiile de incertitudine permit fixarea unei valori comune elementului din spaţiul fazelor care corespunde unei stări, valoare pe care statistica clasică o lăsa nedeterminată. Pe lîngă aceasta, statisticile cuantice consideră particulele de aceeaşi natură care formează sistemul nedistincte, ceea ce permite corectarea anumitor inconsecvenţe ale statisticii clasice.

În cazul electronilor, printr-o generalizare a principiului lui Pauli, Fermi (1926) a admis faptul că o aceeaşi stare nu poate fi ocupată de mai mult de un electron. Această *statistică Fermi-Dirac* explică, printre altele, proprietăţile electronilor din metale. În cazul fotonilor, Bose a arătat încă din 1924 că, dimpotrivă, fiecare stare posibilă poate fi ocupată de orice număr de fotoni. *Statistica Bose-Einstein* permite astfel, printre altele, regăsirea legii radiaţiei a lui Planck.

APLICAŢIILE SPECTROSCOPIEI. Spectrele optice şi spectrele de radiaţii X, caracteristice elementelor, au continuat, ca şi în secolul al XIX-lea, să joace un rol în descoperirea de noi elemente. Spectrele de radiaţii X au condus la detectarea existenţei hafniului şi a reniului; spectrul optic al deuteriului a furnizat prima dovadă a existenţei sale (Urey, 1933).

Formula lui Moseley a permis stabilirea încă din 1913 a numărului atomic al elementelor şi corectarea anumitor neregularităţi aparente din clasificarea periodică a lui Mendeleev. Modelul vectorial al atomului şi principiul lui Pauli au permis înţelegerea distribuţiei electronilor între nivelele de energie ale atomilor, distribuţie care a fost stabilită treptat, între 1915 şi 1925, de Kossel, Bohr, Stoner şi Main-Smith, pe baza datelor experimentale ale proprietăţilor spectrale, magnetice şi chimice ale elementelor.

Spectrele moleculelor sînt caracteristici ale compoziţiei şi structurii lor. Datele spectrale sînt folosite pentru a determina simetria moleculară, pentru a calcula momentele de inerţie, distanţele şi forţele interatomice, energiile de disociaţie şi alte mărimi termodinamice.

Spectroscopia ocupă astăzi un loc considerabil în analiza chimică curentă. Spectrele de emisie şi de fluorescenţă şi, mai ales, spectrele de absorbţie, de la domeniul radiaţiilor X pînă la cel ultrahertzian, servesc la identificarea elementelor chimice şi uneori la dozarea lor. Progresele tehnicii au făcut aceste metode din ce în ce mai comode, sensibile şi precise[10].

Perfecţionarea surselor de lumină datorează mult studiilor spectroscopice. Tuburile cu descărcare în vapori de sodiu sau de mercur, lămpile fluorescente sînt astăzi folosite în mod curent. Tot pe baza unui studiu aprofundat al echilibrului dintre radiaţie şi materie şi al tranziţiilor atomice, s-a reuşit să se construiască, în cazul radiaţiilor infraroşii şi vizibile, *laseri* — analogi în principiu cu maserii[11]: aceştia sînt amplificatori de radiaţii cu zgomot de fond foarte mic sau surse de lumină coerentă, al căror monocromatism şi putere instantanee depăşesc considerabil pe cele ale surselor obişnuite. Laserul cu rubin este datorat lui Maiman (1960), iar cel cu gaz (He + Ne), lui Javan (1960).

Spectroscopia are deja legături fundamentale cu metrologia. Încă din 1864, Fizeau compara „o rază de lumină, cu şirurile sale de ondulaţii", cu „un micrometru natural de cea mai mare perfecţiune". Din 1960, unitatea de lungime este definită prin lungimea de undă a radiaţiei unui izotop al kriptonului. Amintim că a fost luată în considerare şi stabilirea unităţii de durată prin perioada unei linii spectrale atomice sau moleculare [12, 13].

[10] Pentru aplicaţiile spectroscopiei hertziene vezi studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 294—298), iar pentru aplicaţiile din astrofizică, vezi studiile lui Ch. Fehrenbach şi J.F. Denisse (pp. 543—548, 605—608).

[11] Vezi studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 296—298).

[12] Vezi studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 321—322).

[13] Este de menţionat că cercetările de spectroscopie au constituit în România o constantă preocupare atît în perioada interbelică şi cea imediat următoare cît şi în prezent. Am aminti în acest sens în primul rînd cercetările acad. Eugen Bădărău (1887—1975) privind procesele catodice din descărcări luminescente şi torţa de înaltă frecvenţă, cinetica ionilor etc. Unele dintre aceste preocupări au fost continuate cu succes de prof. Ioviţu Popescu şi alţii. În domeniul spectroscopiei moleculare trebuie menţionate lucrările prof. Ion Agârbiceanu (1907—1971) asupra spectrului moleculei de iod şi ale prof. Bîrcă-Gălăţeanu asupra spectrelor coloranţilor organici. — *N.I.-P.*

CAPITOLUL VII
Termodinamica

La începutul secolului al XX-lea, ceea ce se poate denumi „termodinamica clasică“ — adică exploatarea a două mari principii (principiul conservării energiei și principiul lui Carnot), a căror dezvoltare a fost prezentată (vol. III, pp. 281—282) — reprezenta o știință practic constituită. Dar, urmînd exemplul matematicienilor, fizicienii au căutat să dea acestor principii forma cea mai generală posibil și au ajuns în acest domeniu la rezultate interesante.

A. CONSERVAREA ENERGIEI

DEFINIȚIA LUI JEAN PERRIN. Încă din 1901, în cartea sa *Les principes*, Jean Perrin a dat următoarea definiție:

> Cînd două schimbări pot fi, fiecare, singura consecință a celeilalte, niciodată nu se poate întîmpla să se obțină nici una pe seama celeilalte și, pe deasupra, nu se poate obține o altă schimbare „supliment“ — în afară de cazul cînd acest „supliment“ se numără printre consecințele schimbării Joule.

Transformările lui Joule, menționate în această definiție, sînt detentele izoterme ale unui gaz perfect. Celelalte transformări pot fi modificări ale poziției, ale stării de mișcare, ale stării fizice, precum și reacții chimice sau nucleare etc. Avem deci o definiție extrem de generală, pe care Paul Langevin a putut să o aplice în 1920 la cursurile sale de la *Collège de France*, la stabilirea legilor generale ale mecanicii.

DEFINIȚIA LUI MAX BORN. Noțiunea de cantitate de căldură a rămas mult timp cea din secolul al XVIII-lea, care făcea apel, mai mult sau mai puțin implicit, la ipoteza caloricului. Abia în 1921 Max Born a dat o definiție a primului principiu, care cuprindea în același timp și o definiție precisă a cantității de căldură.

> Se postulează mai întîi existența unor pereți perfect *atermali;* asupra unui sistem închis într-o incintă cu astfel de pereți nu se poate acționa decît prin deformarea unui perete sau prin intermediul cîmpurilor exterioare binecunoscute, ca de exemplu cîmpul electric.

Rezultă că pentru orice transformare a unui sistem închis într-o astfel de incintă, *lucrul* efectuat nu depinde decît de starea inițială și de cea finală; acesta va fi denumit variație a energiei interne a sistemului iar transformarea va fi numită *adiabatică*.

Postulînd apoi că există totdeauna o transformare adiabatică care permite trecerea unui sistem de la o stare inițială A la o stare finală B, se definește *cantitatea de căldură* ce intră în joc într-o transformare oarecare ca diferența $\Delta U - w$ dintre variația energiei interne ΔU (determinată de lucrul efectuat în transformarea adiabatică ce are aceleași extremități) și lucrul efectuat în transformarea considerată.

De subliniat că această definiție urmează de aproape pe cea pe care o poate furniza teoria moleculară: într-adevăr, aceasta poate defini energia *totală* (internă) a unui sistem de molecule ca sumă a energiilor fiecărei molecule constituente; ea poate, de asemenea, defini lucrul, dar cantitatea de căldură nu poate fi definită decît prin diferența acestor două mărimi, deoarece ea rezultă numai dintr-o modificare a distribuției moleculelor între diversele stări posibile.

B. PRINCIPIUL LUI CARNOT

În cartea sa *Les principes*, Jean Perrin a recunoscut, după discuții cu P.Langevin, că cel de-al doilea principiu este într-adevăr un principiu de evoluție și a putut să-l definească spunînd că dacă o schimbare este spontan realizabilă, schimbarea inversă nu există. De exemplu, căderea unui corp pe un bloc de gheață provoacă topirea unei anumite cantități de gheață; dar ar fi imposibilă ridicarea unui corp doar prin solidificarea unei anumite cantități de apă, adică punînd în joc o singură sursă de căldură — ceea ce reprezintă de fapt definiția lui Carnot. Exemplul mișcării browniene arată însă că pentru particule foarte mici lucrurile nu au loc astfel. Principiul lui Carnot nu este deci valabil decît pentru corpuri ale căror dimensiuni sînt la scara noastră; el nu este deci decît un principiu statistic.

După ce am semnalat studiile foarte abstracte ale lui Caratheodory (1909) asupra noțiunii de entropie, vom insista puțin asupra noțiunii de „creare a entropiei“.

Clausius arătase că dacă o transformare, efectuată la temperatura T, necesită o cantitate de căldură q și este însoțită de o variație a entropiei ΔS, este satisfăcută relația $T\Delta S \geqslant q$. Se poate deci scrie $T\,\Delta\,S = q + q'$ în care q', numită de către Clausius „căldură necompensată“, este totdeauna pozitivă sau nulă: pozitivă pentru o transformare ireversibilă și nulă pentru o transformare reversibilă. Scriind această relație sub forma $\Delta S = q/T + q'/T$, și remarcînd că q/T reprezintă variația entropiei mediului exterior care cedează căldura q, se poate considera q'/T drept o entropie „creată“ în cursul transformării, dacă aceasta este ireversibilă.

Dezvoltarea acestei idei este cea care a condus la studiul „termodinamicii proceselor ireversibile“, de care s-au ocupat numeroși savanți, printre care Th. de Donder și Onsager.

ACTIVITATEA. În 1875, Gibbs introdusese noțiunea de „protențial chimic“ μ, care reprezintă derivata „entalpiei libere“ G în raport cu numărul de moli ai unui constituent, adică $\mu = \partial G/\partial n_i$. Pentru un gaz perfect sau pentru o soluție ideală, acest potențial chimic poate fi calculat.

El are valoarea $\mu = RT \log C_i + \varphi_i (p, T)$, unde funcția φ_i nu depinde decît de presiunea totală și de temperatură, dar nu și de compoziția amestecului, iar C_i este concentrația molară.

Aceasta a permis lui G. N. Lewis să introducă în 1913 noțiunea de „activitate“ a_i a unui constituent al unui amestec real.

În acest scop, el scrie potențialul chimic sub forma $\mu = RT \log a_i + \varphi_i (p, T)$, unde φ_i — care nu depinde decît de presiunea totală și de temperatură — reprezintă valoarea pe care o ia acest potențial într-o „stare de referință“ sau „stare etalon“ care, dealtminteri, poate fi aleasă arbitrar. Activitatea este egală cu concentrația în cazul soluțiilor ideale; în cazul soluțiilor reale se definește „coeficientul de activitate“ $f_i = a_i/C_i$, unde C_i este concentrația molară.

Aceste noțiuni sînt extrem de utile, îndeosebi în electrochimie.

C. NUMĂRUL LUI AVOGADRO

Am văzut că teoria cinetică a gazelor a permis lui Loschmidt să determine o valoare aproximativă a numărului de molecule conținute într-o moleculă-gram (sau mol), sau a numărului lui Avogadro N (vol. III, p. 303). Pentru a obține rezultate mai precise, Jean Perrin s-a gîndit să se adreseze la un alt fenomen — mișcarea browniană.

MIȘCAREA BROWNIANĂ. Examinînd la microscop particule *foarte mici* conținute într-un lichid, de exemplu în apă, se observă că fiecare dintre ele, în loc să cadă uniform, cum ne-am putea aștepta, este animată de o mișcare cu totul neregulată. Particula cotește, urcă, coboară, iar urcă, fără a tinde spre o poziție de echilibru, dezmințind principiul lui Carnot. Aceasta este *mișcarea browniană*, numită astfel după numele botanistului englez Robert Brown care a semnalat-o în 1827. Acest fenomen a fost dealtminteri întrevăzut deja de Buffon și Spallanzani care, observîndu-l la particule organizate, l-au considerat legat de materia vie.

Această mișcare este absolut independentă de cea a particulelor vecine, precum și de precauțiile luate pentru a asigura un echilibru atît mecanic cît și termic al fluidului examinat (Wiener, 1863; Ramsay, 1876; Gouy, 1888). Mișcarea este cu atît mai activă cu cît particulele din suspensie sînt mai mici (Brown și Wiener). Wiener a tras concluzia că această agitație nu-și are originea nici în particule, nici într-o cauză exterioară lichidului; ea trebuie să fie atribuită unor mișcări interne caracteristice stării fluidului.

Interpretarea cea mai simplă a fenomenului este datorată lui Ramsay (1876), apoi lui P.P. Delsaulx, Carbonnelle și Thirion (1877).

În cazul unei suprafețe mari, ciocnirile moleculare, care creează presiunea, nu vor produce nici o clătinare a unui corp suspendat, deoarece ansamblul lor solicită în mod egal acest corp în toate direcțiile. Dar dacă suprafața este inferioară dimensiunii capabile să asigure compensarea neregularităților, apar presiuni neegale și cu variație continuă de la un punct la altul, pe care legea numerelor mari nu le mai aduce la uniformitate; rezultanta lor nu va mai fi nulă, ci își va schimba continuu intensitatea și direcția.

Acceptînd această interpretare, J. Perrin a considerat atunci că particulele browniene ar trebui considerate ca *molecule* ale unui fluid amestecat cu cel în care se găsesc în suspensie și că, în particular, ele trebuie să se distribuie sub influența gravitației, pe înălțime, exact după legea nivelării barometrice.

În consecință, dacă n este numărul de particule pe unitatea de volum la înălțimea h, iar n_0 este numărul acestora la înălțimea zero, este satisfăcută relația $\log n_0/n = Mgh/RT$, unde M este masa lor moleculară, g intensitatea gravitației minus presiunea lui Arhimede, R constanta gazelor perfecte și T temperatura absolută.

Măsurarea raportului n_0/n, care este posibilă prin studii la microscop, ar permite deci, dacă legea amintită se verifică (ceea ce măsurătorile lui Perrin au arătat fără îndoială), să se determine masa moleculară a substanței pentru care particulele browniene reprezintă moleculele. Or, $M = Nm$, unde m este masa unei particule, care poate fi determinată experimental prin izolarea la microscop și cîntărirea unui număr cunoscut dintre aceste particule.

Nu putem insista asupra acestor metode experimentale care sînt foarte delicate. Vom aminti doar că după numeroase eforturi experimentale, Perrin a propus, în 1908, ca valoare cea mai probabilă a acestui număr, valoarea $N = 6{,}82 \cdot 10^{23}$.

ACTIVITATEA MIȘCĂRII BROWNIENE. Einstein, în 1905, și, independent de el, Smoluchowski, în 1906, au propus pe aceleași baze o teorie a mișcării browniene. Remarcînd imposibilitatea de a urmări în decursul timpului mișcarea unei particule, ei au propus caracterizarea *activității* mișcării browniene prin raportul pătratului mediu $\overline{\xi^2}$ al deplasării unei particule la timpul τ.

Ei au arătat că valoarea acestui raport este constantă și este legată de coeficientul de difuzie D al acestor particule, prin relația $D = \frac{1}{2}(\xi^2/\tau)$.

Acest coeficient de difuzie poate fi dealtminteri legat de numărul lui Avogadro, de coeficientul de viscozitate η al lichidului în care se mișcă particulele și de raza a a particulelor sferice: $D = \frac{RT}{N}\,\frac{1}{6\pi\eta a}$. Măsurarea la microscop a lui a și a lui $\overline{\xi^2}$ (într-un mare număr de puncte), putea deci permite determinarea lui N printr-o nouă metodă. Experiențele lui Perrin (1908—1909) au furnizat ca valoare cea mai probabilă $N = 6{,}88 \cdot 10^{23}$, în bun acord cu valoarea precedentă.

Amintim că în aceeaşi perioadă, Léon Brillouin a putut să măsoare direct coeficientul de difuzie D al particulelor şi să arate că legătura sa cu activitatea $\overline{\xi^2}/\tau$ era verificată în mod convenabil. Studiul mişcării browniene de rotaţie, deşi mai dificil şi mai puţin precis, a condus la rezultate de acelaşi ordin.

FLUCTUAŢIILE. După teoria cinetică a gazelor, volume egale din aceeaşi masă fluidă conţin, *în medie*, acelaşi număr n_0 de molecule. Dar este clar că, la un moment dat, numărul de molecule nu va fi riguros n_0, ci un număr n, cînd mai mare, cînd mai mic decît n_0: există deci *fluctuaţii* ale numărului de molecule pe unitatea de volum, care sînt caracterizate prin diferenţa $n - n_0$. Valoarea medie a lui $n - n_0$ este nulă, dar Smoluchowski (1909), într-o lucrare completată de Keesom (1911), a putut calcula valoarea medie a lui $(n - n_0)^2$ pe baza compresibilităţii gazului, iar în valoarea obţinută intervenea numărul lui Avogadro. Dar aceste fluctuaţii ale numărului de molecule se traduc prin fluctuaţii ale densităţii şi ale indicelui de refracţie; lucrări anterioare, ale lui Rayleigh şi Lorenz (1881), arătaseră că apare o împrăştiere a luminii în toate direcţiile şi îndeosebi în unghi drept faţă de lumina incidentă; deoarece intensitatea împrăştiată este proporţională cu inversul puterii a patra a lungimii de undă λ, această intensitate este mai mare în domeniul albastru decît în roşu. Măsurarea acestei intensităţi împrăştiate permite determinarea numărului lui Avogadro cel puţin în cele două cazuri în care această intensitate este suficient de mare.

1) Dacă masa gazului împrăştietor este extrem de mare, ca în cazul atmosferei terestre; acest caz duce la culoarea albastră a cerului. Măsurătorile, destul de dificile, furnizează valoarea $N = 6 \cdot 10^{23}$.

2) Dacă fluidul este extrem de compresibil; acest caz are loc în vecinătatea punctului critic, cînd unele molecule suplimentare transformă, local şi temporar, gazul în lichid. Aceasta explică fenomenul de „opalescenţă critică", studiat experimental încă din 1908 de Kamerlingh Onnes şi Keesom. El furnizează o nouă metodă pentru determinarea lui N, care conduce la valoarea $7{,}5 \cdot 10^{23}$.

Fără a cunoaşte lucrările precedente, Einstein (1910) a studiat aceste probleme printr-o teorie mai completă şi a obţinut aceleaşi rezultate.

ALTE DETERMINĂRI ALE NUMĂRULUI LUI AVOGADRO. Vom mai menţiona doar cîteva metode de determinare a acestui număr fundamental, provenind din alte ramuri ale fizicii: determinarea directă a sarcinii elementare e (un Faraday, $F = Ne$), radioactivitatea, măsurarea directă a lungimii de undă a radiaţiilor X. Amintim, în sfîrşit, că şi spectrul corpului negru permite determinarea acestui număr (vol. III, pp. 300—301). Valoarea cea mai probabilă a lui N este acum $N = 6{,}023 \cdot 10^{23}$.

D. TERMODINAMICA STATISTICĂ

Prin folosirea mecanicii statistice, fondată de Maxwell, Gibbs şi Boltzmann, a fost introdusă *temperatura* în teoriile moleculare care s-au dezvoltat considerabil în secolul al XX-lea; se poate spune că termodinamica, prin intermediul acestora, a invadat toate ştiinţele fizice. Ne vom mulţumi în cele ce urmează să prezentăm cîteva dintre punctele mai importante.

TEMPERATURILE FOARTE JOASE. Experienţele efectuate în cursul secolului al XIX-lea pentru a obţine temperaturi din ce în ce mai apropiate de zero absolut (vol. III, pp. 292—293) au fost continuate cu succes în cursul secolului al XX-lea datorită progreselor tehnicii şi aprofundării principiilor termodinamicii. Primul mare succes, lichefierea la 4,2°K a ultimului „gaz permanent“, heliul, obţinută de H. Kamerlingh Onnes în laboratorul criogenic de la Leyda, în 1908, a permis obţinerea unor temperaturi mai mici de 1°K prin evaporarea heliului lichid. Cercetările efectuate în laboratorul de la Leyda şi în alte centre special amenajate, au pus în evidenţă anumite proprietăţi neobişnuite ale materiei în apropierea lui zero absolut: fenomenul de supraconductibilitate[1] (Kamerlingh Onnes, 1911), proprietăţi magnetice (Kamerlingh Onnes, P. Debye, P. L. Kapiţa), anomalii ale dilatării termice (W. Keesom) etc. Menţionăm îndeosebi existenţa a două stări ale heliului lichid, dintre care unul, heliul II, prezintă proprietăţi de suprafluiditate (M. Wolfke, 1927; Kamerlingh Onnes; Allen şi Jones; Kapiţa); bazat pe considerente de mecanică cuantică şi pe introducerea noţiunii de cvasi-particule, teoreticianul sovietic L. D. Landau a putut edifica teoria acestui fenomen neobişnuit (1941).

Utilizarea metodei demagnetizării adiabatice[2], propusă în 1926 de Debye şi W. F. Giauque, a permis obţinerea unor noi succese în apropiere de zero absolut. Măsurarea temperaturilor astfel atinse ridica o problemă dificilă, deoarece apariţia unor fenomene fizice neobişnuite nu permitea extrapolarea legilor fizice folosite pînă acum. Această dificultate a putut fi depăşită urmărind progresiv fenomenul de demagnetizare şi aplicînd în mod corect definiţia termodinamică a temperaturii, ceea ce prezintă astfel o importanţă practică indiscutabilă.

Rezultate remarcabile au fost obţinute astfel, în special de Kamerlingh Onnes şi Giauque; acesta din urmă a atins în 1933 temperatura de 0,25°K. În 1950, la laboratorul din Leyda s-a obţinut temperatura de 0,0014°K (vezi p. 403).

Aceste cercetări în plin avînt deschid un vast domeniu, a cărui explorare trebuie să conducă la noi descoperiri privind proprietăţile materiei condensate şi la aplicaţii foarte importante, în special în electronică (inventarea criotronului, D. A. Buck, 1956; utilizarea supraconductibilităţii la măsurarea radiaţiilor foarte slabe, controlul fluxului caloric, realizarea unor motoare fără frecări apreciabile şi a unor magneţi puternici funcţionînd cu surse de energie foarte mici etc.).

---

[1] Vezi studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 308—310).

[2] Vezi studiul lui E. Bauer şi A. Herpin (p. 235).

TEHNICA PRESIUNILOR ÎNALTE. Experienţele de lichefiere a gazelor efectuate în secolul al XIX-lea (vol. III, pp. 290—296) conduseseră la necesitatea utilizării unor presiuni din ce în ce mai ridicate. În secolul al XX-lea s-au realizat progrese remarcabile în această direcţie, care permit astăzi să se obţină presiuni de ordinul a 500 000 atm şi să se descopere astfel numeroase proprietăţi noi ale materiei (T. Hall, Kennedy, Drickhammer).

Între alţii, P. W. Bridgman a contribuit la perfecţionarea acestei tehnici şi la studiul proprietăţilor materiei supuse la presiuni foarte ridicate: studiul conductibilităţii electrice şi termice a metalelor, a diferitelor proprietăţi fizice ale cristalelor, descoperirea mai multor varietăţi de gheaţă mai dense decît apa, precum şi o nouă stare a fosforului, stabilă la o presiune de 12 000 atm etc.

Contribuind la perfecţionarea cunoaşterii proprietăţilor materiei şi, în particular, a structurii moleculare şi electronice a solidelor, aceste cercetări au permis totodată extinderea studiului reacţiilor chimice în condiţii extreme de presiune şi de temperatură, precum şi verificarea anumitor ipoteze asupra structurii interne a globului terestru şi asupra originii materialelor din care acesta este format[3]. Menţionăm în special sinteza diamantului artificial, realizată în 1956 la 2000°C şi la presiuni de ordinul a 150 000 atm, în laboratoarele firmei *General Electric.*

PRODUCEREA TEMPERATURILOR ÎNALTE. Importanţa acestui studiu al fizicii şi chimiei „condiţiilor extreme" a condus la un efort paralel pentru obţinerea temperaturilor înalte — domeniu caracterizat în special de existenţa moleculelor disociate şi a ionilor liberi, precum şi de producerea compuşilor endotermici. Perfecţionarea metodelor clasice — arzătoare cu hidrogen atomic (Langmuir, 1912; R. W. Wood, 1921), cuptoare cu inducţie, cuptoare cu bombardament electronic, cuptoare electrice speciale, torţe electronice, cuptoare solare (F. Trombe, 1946 etc.) a permis atingerea în mod curent a unor temperaturi de 3 000—4 000°C şi studiul proprietăţilor materiei la aceste temperaturi. Numeroase reacţii noi, sinteze necunoscute şi metode cu aplicaţii vaste au fost astfel descoperite şi folosite. Cercetările efectuate în diferite ţări asupra fuziunii termonucleare controlate şi asupra fizicii plasmei au permis obţinerea pe durate foarte scurte a unor temperaturi de ordinul mai multor milioane de grade[4] (Kapiţa şi Kurceatov în U.R.S.S.; Bostick în S.U.A. etc.). Deşi aceste performanţe dau naştere unor speranţe mari, în special în domeniile fizicii nucleare, al astrofizicii şi al producerii industriale de energie, ele nu par să fi depăşit stadiul experienţelor de laborator; este adevărat că politica actuală de lucru secret poate întîrzia publicarea unora dintre rezultatele obţinute. Dimpotrivă însă, noua metodă a jeturilor cu plasmă (plasmatroane), care permite obţinerea în mod curent a unor temperaturi de 10 000—20 000°C (şi chiar 50 000°C) a intrat deja în domeniul practicii curente. Principiul metodei constă în utilizarea descărcărilor electrice în gaze rarefiate şi menţinerea plasmei într-un volum redus, dar cu o mare densitate de ionizare. Un prim prototip, arzătorul cu plasmă-arc a fost inventat încă din 1920 de H. Gerdien, dar realizat efectiv abia în 1951 de H. Maecker sub forma cunoscută sub denumirea de arzător cu apă. Un tip mai practic, arzătorul cu gaz, a fost pus la punct de G. Giannini şi de cercetătorii de la firma *General Electric.* O metodă diferită este folosită în jeturile cu plasmă de înaltă frecvenţă, realizate în laboratoare din diferite ţări. Deşi aceste aparate nu sînt folosite decît de cîţiva ani, ele au permis deja obţinerea unor date noi asupra reacţiilor chimice la temperaturi înalte şi asupra studiului experimental al plasmei şi au condus la numeroase aplicaţii: studiul jeturilor gazoase la temperaturi înalte şi la viteze supersonice, problema revenirii navelor spaţiale în atmosferă, căptuşirea produselor refractare, sintetizarea compuşilor ultrarefractari.

---

[3] Vezi studiul lui J. Orcel (p. 499).

[4] Vezi studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (p. 312).

ELECTROLIŢII TARI. Vom semnala şi aplicarea metodelor statistice la electroliţii tari: teoria lui Debye, şi apoi teoria lui Debye şi Hückel (1923)[5]. Soluţiile acestor electroliţi sînt formate doar din ioni: cationi pozitivi şi anioni negativi, care exercită unii asupra celorlalţi acţiuni electrostatice conform legii lui Coulomb. Într-un punct dat al soluţiei, valoarea medie a densităţii de sarcină este nulă, deoarece prin acel punct trece un număr egal de anioni şi de cationi. Ideea originală a lui Debye, care s-a dovedit foarte fecundă, a fost de a studia ce se întîmplă nu într-un punct fix al soluţiei, ci într-un punct rigid, legat de un ion dat, punct care urmăreşte acest ion în cursul deplasărilor sale; aceasta reprezintă o concepţie foarte originală, şi Debye nu a ezitat să folosească chiar şi în acest caz legile termodinamicii statistice. El a arătat astfel că fiecare ion trebuie să se înconjure cu o „atmosferă ionică", căreia el i-a putut determina dimensiunile şi acţiunea asupra ionului pe care îl însoţeşte. Rezultatele cantitative sînt în acord satisfăcător cu experienţa, cel puţin în cazul soluţiilor foarte diluate.

STATISTICILE CUANTICE. Mecanicile statistice ale lui Gibbs şi Boltzmann se bazau pe ipoteza că energia unei particule este capabilă de variaţii continue, iar aceasta permitea demonstrarea „principiului echipartiţiei energiei". Pentru a interpreta corect spectrul corpului negru, Planck a trebuit să abandoneze această continuitate şi să propună teoria cuantelor (vol. III, pp. 301—302). De atunci, teoriile cuantice au invadat toată fizica şi trebuie considerat că toate energiile (chiar şi cele de translaţie) sînt cuantificate. Aceasta a condus la modificări esenţiale în expunerea mecanicilor statistice: integralele a trebuit să fie înlocuite prin serii; nu mai există constantă de integrare; în locul ei se introduce peste tot constanta h a lui Planck.

Modificarea formulelor este totuşi destul de mică; în general trebuie scris că dacă energiile posibile sînt E_0, E_1, E_2..., numărul de molecule cu energia E_i este egal cu $A \exp(-E_i/kT)$.

---

[5] Pentru mai multe amănunte vezi studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp.288—29).

unde factorul de proporţionalitate A este determinat prin cunoaşterea numărului total de molecule. Diferitele mărimi energetice se pot calcula, în acest caz, uşor.

Dezvoltările ulterioare ale mecanicii cuantice, care au scos în evidenţă caracterul fundamental al indiscernabilităţii particulelor asemănătoare şi care au introdus noţiunea de spin (împreună cu principiul de excluziune al lui Pauli), au condus la noi moduri de a defini şi de a calcula „probabilitatea" unei configuraţii date.

A rezultat că $A \exp(-E_i/kT)$ trebuie înlocuit cu $1/[\exp(\lambda + E_i/kT) - 1]$, dacă principiul de excluziune nu se aplică (statistica Bose-Einstein, 1924) şi cu $1/[\exp(\lambda + E_i/kT) + 1]$ dacă acest principiu se aplică (statistica Fermi-Dirac, 1925). Parametrul λ înlocuieşte constanta de proporţionalitate precedentă şi se calculează pe baza numărului total de particule. Cu excepţia cazurilor particulare (electroni de conducţie în metale etc.) exponenţiala este totdeauna mai mare decît 1, iar calculele pot fi efectuate cum s-a indicat mai sus.

CĂLDURA SPECIFICĂ A GAZELOR. ORTO- ŞI PARAHIDROGENUL. Printre mărimile energetice al căror calcul este permis de statisticile cuantice, figurează în mod natural şi căldurile specifice. În cazul gazelor, este suficient să cunoaştem, pe lîngă masele moleculelor, momentele lor de inerţie şi frecvenţele lor proprii de vibraţie, mărimi pe care spectroscopia le furnizează, cel puţin pentru molecule suficient de simple şi, în particular, pentru hidrogen, H_2.

Se poate deci calcula, *apriori*, şi pentru orice temperatură, căldura specifică a gazului H_2 dacă echilibrul termic între toate moleculele este realizat. La temperaturi foarte joase rezultatele sînt însă în dezacord cu experienţa. Aceasta se datoreşte faptului că cei doi atomi care formează molecula H_2 sînt identici şi deci spinii lor nucleari pot fi sau paraleli, sau antiparaleli; or, tranziţia de la una dintre aceste stări la cealaltă este foarte puţin probabilă, ceea ce are ca rezultat faptul că echilibrul complet se stabileşte foarte lent. În realitate, hidrogenul puternic răcit trebuie deci considerat ca un amestec a două gaze, ortohidrogenul (în care spinii nucleari sînt paraleli) şi parahidrogenul (cu spinii antiparaleli, Dennison, 1927). La temperatura camerei, cînd apare echilibrul, există 1/4 parahidrogen şi 3/4 ortohidrogen, în timp ce la temperaturi foarte joase ar exista, la echilibru, doar parahidrogen. Efectuînd calculul căldurilor specifice ale celor două gaze separat şi admiţînd că proporţia lor este aceeaşi ca la temperatura camerei, se calculează o căldură specifică care este în acest caz în acord cu datele experimentale. Folosind catalizatori potriviţi, se poate, de asemenea, mări viteza de transformare, obţinîndu-se astfel, la temperaturi joase, parahidrogen practic pur: căldura specifică a acestui gaz este, de asemenea, în acord cu previziunile teoretice.

CĂLDURA SPECIFICĂ A SOLIDELOR. Am văzut (vol. III, p. 304) cum poate fi interpretată legea lui Dulong şi Petit prin aplicarea principiului echipartiţiei energiei între vibraţiile unui atom dintr-un solid cristalizat, fără a scoate în evidenţă însă faptul că, la solide, căldura specifică variază cu temperatura şi tinde către zero pe măsură ce ne apropiem de zero absolut.

În 1907, Einstein a emis ideea că atomii vibratori care formează solidul pot fi asimilaţi cu rezonatorii imaginaţi de Planck pentru a explica spectrul corpului negru.

Energia medie pe grad de libertate n-ar mai fi deci kT, după cum cere principiul echipartiţiei energiei, ci $h\nu/[\exp(h\nu/kT) - 1]$, iar pentru căldura specifică ar rezulta expresia $3\,RE(\xi)$, unde $\xi = h\nu/kT$, iar $E(\xi) = \xi\, e\, /(e^{\xi} - 1)^2$ este o funcţie denumită curent „funcţia lui Einstein". Din această formulă rezultă că la temperaturi destul de ridicate, căldura specifică este într-adevăr egală cu $3R$ după cum afirmă legea lui Dulong şi Petit, iar la temperaturi foarte joase ea tinde către zero. Din nefericire, descreşterea acestei călduri specifice cu temperatura este mult mai rapidă decît arată experienţa.

În 1911, Nernst şi Lindemann au arătat că au obţinut un acord mult mai bun presupunînd că există două frecvenţe ν şi $\nu/2$ şi că deci căldura specifică are expresia $(3/2)\ R[E(\xi) + E(\xi/2)]$.

În acelaşi an, Einstein a remarcat că în realitate trebuia să existe un număr foarte mare de frecvenţe, care să formeze un întreg spectru. Problema a fost abordată simultan şi în moduri diferite în 1912 de Debye şi de M. Born şi von Kármán.

Cel dintîi considera solidul ca un mediu continuu, căruia i se aplică legile elasticităţii, iar ceilalţi îl considerau un ansamblu de puncte materiale oscilînd în jurul nodurilor unei reţele cubice. Rezultatele sînt în mare parte asemănătoare şi conduc, cel puţin într-o primă aproximaţie, la reprezentarea căldurii specifice printr-o expresie $3RD(\xi)$, în care, ca şi mai înainte, $\xi = h\nu/kT$, dar în care ν reprezintă o *frecvenţă limită* iar $D(\xi)$ este o funcţie destul de complicată care tinde spre unitate la temperaturi mari (confirmînd iar legea lui Dulong şi Petit) şi spre zero la temperaturi joase, funcţia $D(\xi)$ variind aproape cu cubul temperaturii; ea furnizează astfel rezultate mult mai apropiate de cele experimentale[6].

De atunci, diferitele perfecţionări aduse acestei teorii au permis o îmbunătăţire a acestui acord, în special prin interpretarea unei mici creşteri peste valoarea $3R$ la temperaturi ridicate şi a anumitor neregularităţi observate la temperaturi joase pentru diferite substanţe cum ar fi sulfatul de gadoliniu.

E. ENERGIA RADIANTĂ

Am văzut că, în 1900, Planck a interpretat corect spectrul corpului negru, inaugurînd astfel teoria cuantelor. Formula lui Planck n-a constituit obiectul nici unei modificări şi ea pare a fi una dintre formulele cele mai sigure din întreaga fizică. Dar, în secolul al XX-lea, au fost făcute eforturi pentru lămurirea fenomenelor care asigură constanţa compoziţiei spectrale a radiaţiei corpului negru prin interacţiunile dintre radiaţie şi materie. O lucrare fundamentală este reprezentată de un memoriu al lui Einstein din 1917, în care acest savant studiază amănunţit schimburile de energie dintre molecule capabile să absoarbă şi să emită radiaţii, şi radiaţiile în care ele se găsesc.

---

[6] Vezi şi studiul lui A. Guinier (p. 196, 197).

În acest memoriu, Einstein a stabilit în mod sigur că, pentru ca legea radiaţiei corpului negru să fie cea a lui Planck şi pentru ca jocul absorbţiilor şi emisiilor succesive să întreţină agitaţia termică a moleculelor, este necesar:

1) ca radiaţia să acţioneze ca şi cum ar fi formată din cuante de lumină; aceasta constituie prima schiţare a ceea ce se numeşte astăzi teoria fotonilor;

2) ca emisia radiaţiei de către o moleculă excitată să poată avea loc independent de radiaţia care soseşte la ea (emisie spontană) şi să fie proporţională cu densitatea de energie a acestei radiaţii (emisie provocată sau stimulată). Este cu totul remarcabil faptul că el a fost condus să atribuie raportului probabilităţilor emisiei spontane şi provocate o valoare identică cu cea obţinută în teoriile mai recente ale emisiei radiaţiilor[7].

Studiul lui Einstein a putut fi precizat şi generalizat în continuare. El rămîne totuşi unul dintre cele mai importante care au fost publicate asupra problemei „echilibrului dintre radiaţie şi materie".

---

[7] În legătură cu acest subiect, vezi şi studiul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 295—298).

CAPITOLUL VIII
Magnetismul

Se cunoaşte care a fost dezvoltarea ştiinţei fenomenelor electrice şi magnetice în cea de-a doua jumătate a secolului al XIX-lea. Totuşi, cunoştinţele noastre asupra proprietăţilor magnetice ale materiei progresau lent.

Amintim cîteva etape din istoricul lor: Coulomb a arătat importanţa fundamentală a noţiunii de moment magnetic şi a atribuit chiar şi moleculelor un moment (vol. II, pp. 567—570); Poisson a stabilit teoria magnetismului prin influenţă (vol. III, p. 217); Ampère a propus ipoteza curenţilor moleculari (vol. III, p. 219). Pe atunci nu erau cunoscute decît substanţe „feromagnetice" — oţelul, fierul moale etc. Faraday a descoperit că toate substanţele pot fi magnetizate; el le-a împărţit în diamagnetice, paramagnetice şi feromagnetice şi le-a măsurat aceste proprietăţi (vol. III, p. 232). Puţin mai tîrziu, W. Thomson a dezvoltat pe baze fenomenologice o teorie matematică a magnetizării (vol. III, p. 240). În sfîrşit, W. Weber a oferit, pe baza ideilor sale generale asupra electricităţii, o imagine corpusculară a curenţilor moleculari ai lui Ampère, care schiţează concepţiile noastre actuale (vol. III, p. 237).

Printre lucrările ulterioare, trebuie citate cele ale lui J. A. Ewing, care a arătat în 1890—92 importanţa cuplajului dintre magneţii elementari vecini în substanţele feromagnetice.

El a construit în acest scop şi un model: un mare număr de mici ace de busolă erau plasate pe pivoţi dispuşi în mod regulat, suficient de apropiaţi unii de alţii pentru ca interacţiile lor magnetice să fie simţite; într-un cîmp magnetic exterior crescător sau descrescător se observau schimbări bruşte de orientare a unor grupuri întregi de ace, iar curbele observate pentru magnetizarea rezultantă formau bucle ireversibile, asemănătoare curbelor de histerezis ale fierului sau nichelului.

Experienţa era interesantă, dar — după cum vom vedea — nu era vorba de o cuplare magnetică, iar explicaţia reală a acestor fenomene atît de importante pentru tehnică avea să aştepte mai mult de 40 de ani.

În aceeaşi epocă, P. Duhem a publicat o teorie a magnetizării, bazată pe principiile termodinamicii (1888).

TEZA LUI PIERRE CURIE. Pentru ca aplicarea termodinamicii la aceste fenomene să fie într-adevăr fecundă, era necesar să se ştie cum variază proprietăţile magnetice ale acestor corpuri cu temperatura. În această direcţie, au fost efectuate cîteva experienţe, dar domeniul a fost deschis de fapt de Pierre Curie. Teza sa din 1895, apărută puţin după publicarea teoriei electronilor de către H. A Lorentz, a inaugurat perioada modernă a istoriei magnetismului. Prin măsurări de o precizie şi de o simplitate remarcabile, el a stabilit două legi fundamentale, dintre care cea de-a doua îi poartă numele:

1) Pentru substanţele diamagnetice, la care magnetizarea indusă de un cîmp are sens opus acestuia, coeficientul de magnetizare — care reprezintă proporţionalitatea între aceste două mărimi (raportată la unitatea de masă) — este mic şi negativ, şi independent de temperatură.

2) Pentru substanţele paramagnetice, la care magnetizarea este pozitivă, de asemenea foarte mică, acest coeficient variază invers proporţional cu temperatura absolută.

Curie trage concluzia că diferenţa dintre acţiunea temperaturii asupra coeficientului de magnetizare al substanţelor (para)-magnetice şi diamagnetice este definitiv clarificată, iar *aceste rezultate sînt favorabile teoriilor care atribuie magnetismului şi diamagnetismului cauze diferite.*

În ceea ce priveşte substanţele feromagnetice, acestea nu au coeficient de magnetizare bine definit şi sînt sediul unor fenomene ireversibile. Totuşi, li se poate determina „curba de magnetizare" la diferite temperaturi, iar aceste experienţe arată că „o substanţă feromagnetică se transformă progresiv cînd este încălzită căpătînd proprietăţile unei substanţe slab magnetice (paramagnetice)".

Dispariţia feromagnetismului la temperaturi înalte este un fenomen cunoscut — calitativ — cel puţin din timpul Renaşterii. Temperatura la care are loc acest fenomen este bine determinată şi se numeşte astăzi „punctul Curie".

TEORIA LUI LANGEVIN. Abia în 1905, după încercările lui W. Voigt şi J. J. Thomson, P. Langevin a reuşit să pună bazele unei teorii electronice complete a fenomenelor dia- şi paramagnetice. Inspirîndu-se din ideile lui Lorentz şi Larmor şi din rezultatele experimentale ale lui Curie, el a putut descrie cu precizie cele două fenomene atomice distincte care furnizează cheia legilor descoperite de Curie.

În privinţa diamagnetismului, ipotezele de bază sînt apropiate de cele emise anterior de W. Weber, dar sînt traduse în limbaj electronic; consecinţele lor sînt dezvoltate în mod riguros în calcule.

Faptul că majoritatea substanţelor sînt diamagnetice, se datoreşte orientării orbitelor electronice din moleculele lor în sensuri diferite, astfel încît efectele lor magnetice la distanţă se compensează reciproc iar momentul lor rezultant este nul. Dar, dacă se stabileşte progresiv un cîmp magnetic exterior, variaţia sa creează în tot spaţiul, după cum a arătat Maxwell (vol. III, p. 247), un cîmp electric de inducţie care se înfăşoară în jurul liniilor magnetice şi care accelerează sau frînează mişcarea electronilor, astfel încît să se opună variaţiei care i-a dat naştere (vol. III, p. 235), adică să creeze un cîmp magnetic invers·

Fiecare moleculă capătă treptat un moment indus, dirijat în sens contrar cîmpului inductor şi proporţional cu valoarea finală a acestuia din urmă.

Structura electronică a moleculelor se schimbă foarte puţin cu temperatura; acelaşi lucru se poate afirma deci şi despre susceptibilitatea lor diamagnetică.

În privinţa paramagnetismului, Langevin admite, cum făcuseră deja Ampère, Faraday şi Weber, că moleculele substanţelor magnetice posedă toate un moment permanent şi că acesta este determinat de structura lor electronică: în aceste molecule, pentru motive ce nu erau cunoscute în acea epocă, compensarea de care am amintit nu are loc.

Weber consideră că anumite forţe elastice de origine necunoscută orientează aceste momente în toate direcţiile, astfel încît suprimă, în cazul unui cîmp magnetic nul, orice magnetizare aparentă. Teoria lui Langevin nu face să intervină decît două energii: energia magnetică a magneţilor elementari într-un cîmp exterior şi energia agitaţiei termice. Aceasta din urmă tinde să creeze dezordine în orientarea momentelor şi să anuleze magnetizarea rezultantă, în timp ce un cîmp exterior tinde să utilizeze toate aceste momente paralel cu liniile de forţă. Există o luptă între aceste tendinţe antagoniste, care sfîrşesc prin a se echilibra, iar echilibrul este guvernat de o formulă pe care Boltzmann a stabilit-o în „teoria cinetică a gazelor“ şi care arată că distribuţia statistică, la o temperatură absolută T, a unui foarte mare număr de sisteme între diversele lor nivele de energie W este proporţională cu factorul $\exp(-W/kT)$, unde k este „constanta lui Boltzmann“ (vol. III, p. 303).

Trebuie subliniat faptul că Planck şi Langevin au fost, independent unul de celălalt, primii care au extins aplicarea acestei formule la alte mişcări decît translaţiile simple şi au demonstrat astfel importanţa sa.

Langevin admite (după cum era de aşteptat în 1905) că toate orientările în raport cu un cîmp exterior H sînt egal posibile. Această ipoteză îl conduce, pentru magnetizarea rezultantă, la o lege simplă, care descrie cu o bună aproximaţie proprietăţile mai multor substanţe paramagnetice. La temperaturi ridicate şi medii, energia W a magneţilor elementari, în cîmpurile pe care ştim să le producem, este mică în raport cu energia termică kT: exponenţialele se reduc la drepte, magnetizarea rezultantă este proporţională cu raportul H/T, dintre cîmp şi temperatura absolută, ceea ce conduce la concluzia că există un coeficient de magnetizare independent de cîmp şi invers proporţional cu T: aceasta este legea lui Curie. La temperaturi foarte joase (ca în heliul lichid) şi în cîmpuri intense, W/kT este, dimpotrivă, mare, agitaţia termică nu mai poate restabili dezordinea, magneţii moleculari se plasează aproape paralel cu cîmpul. Apare un efect de *saturaţie paramagnetică*, care a fost observat pentru prima dată în 1914 la Leyda de Kammerlingh Onnes la sulfatul de gadoliniu.

Vom reveni asupra a două consecinţe importante ale teoriei pe care Langevin le-a semnalat: măsurarea momentelor magnetice moleculare şi fenomenul magnetocaloric.

Vom sublinia că una dintre ipotezele sale de bază — existenţa moleculelor sau atomilor prevăzuţi cu orbite electronice care creează momente magnetice permanente — este cu totul de neînţeles în teoria clasică (deşi ea fusese iniţiată de fapt de Ampère). Numai cuanta de acţiune, descoperită de Planck, avea să asigure acestor orbite stabilitatea necesară. Acest fapt a fost observat treptat şi numai după ce Born şi-a dezvoltat teoria sa atomică.

Pe de altă parte, Langevin neglijează în mod voit interacţiile moleculare capabile să perturbe libera orientare a momentelor elementare. El ştie că legea sa — curba sa de magnetizare în funcţie de cîmp — se aplică doar la substanţele care pot fi numite, prin analogie cu gazele perfecte, paramagnetice perfect. Dar printre acestea se găsesc numeroase cristale în care atomii se ating. Doar teoria cuantică a structurii atomilor, moleculelor şi cristalelor putea conduce la înţelegerea acestui fapt misterios.

CÎMPUL MOLECULAR AL LUI PIERRE WEISS. MAGNETIZAREA SPONTANĂ. Interacţiile dintre purtătorii de momente joacă un rol predominant în substanţele feromagnetice, ca şi forţele van der Waals între moleculele din lichide şi din anumite solide. În timp ce Langevin s-a mulţumit să sublinieze această analogie, Pierre Weiss a precizat-o şi a dezvoltat-o. Experienţe efectuate între 1896 şi 1905 asupra unor cristale feromagnetice (magnetit, pirotin), ale căror proprietăţi sînt foarte anizotrope, i-au sugerat deja noţiunea de „cîmp structural". În 1907, el a publicat ipoteza sa asupra *cîmpului molecular.*

Acest cîmp reprezintă o acţiune de orientare reciprocă a purtătorilor de momente magnetice, de tipul „acţiunilor colective" care joacă un rol atît de important în fizico-chimia modernă: el creşte în funcţie de orientarea comună, adică de ordinea internă. Această ordine şi această orientare comună sînt măsurate prin magnetizare. Weiss admite că cîmpul molecular este proporţional cu magnetizarea; el suprapune această ipoteză peste legea paramagnetismului lui Langevin şi obţine astfel o interpretare simplă şi fecundă, deşi paradoxală în aparenţă, a feromagnetismului. El demonstrează de fapt că la temperaturi medii şi joase, starea stabilă a unei substanţe feromagnetice comportă, în afara oricărui cîmp, o *magnetizare spontană.* Aceasta se datoreşte cîmpului molecular, adică *interacţiilor colective* ale purtătorilor de momente; ea tinde spre saturaţie în vecinătatea lui zero absolut. Cînd temperatura creşte, ea scade din ce în ce mai repede şi dispare la punctul Curie. Substanţele devin atunci paramagnetice şi ascultă de o lege Curie-Weiss, care reprezintă o generalizare a legii Curie.

Magnetizarea spontană nu apare în experienţele obişnuite deoarece ea afectează — chiar în monocristale — *domenii* mici, în care orientarea magnetizării diferă de la un domeniu la altul, ceea ce conduce la o compensare de ansamblu. Rolul unui cîmp exterior este de a conduce aceste orientări parţiale la un paralelism mai mult sau mai puţin perfect. Apariţia remanenţei — în cazul oţelului dur, de exemplu — se datoreşte faptului că dezorientarea domeniilor nu se efectuează pînă la capăt.

Ideile lui Weiss au părut iniţial destul de ciudate, dar dezvoltarea teoriei şi descoperirea unor fenomene noi, pe care aceasta le-a prevăzut, le-au făcut treptat convingătoare. În 1919, Barkhausen, folosind un microfon cu amplificator, a putut auzi zgomotele datorate etapelor succesive ale magnetizării diferitelor domenii într-un cîmp variabil. Acoperind suprafaţa unui monocristal cu o suspensie coloidală de substanţă magnetică, Bitter a reuşit în 1931 să vadă aceste domenii la microscop şi să le studieze comportarea într-un cîmp exterior. Această dezvoltare a vechii metode a piliturii de fier a furnizat date preţioase asupra feromagnetismului.

CĂLDURA DE DEMAGNETIZARE ŞI APROPIEREA DE ZERO ABSOLUT. Dezvoltîndu-şi teoria statistică a paramagnetismului, Langevin a demonstrat că orice variaţie a magnetizării trebuie să fie însoţită de un fenomen termic. Într-adevăr, demagnetizarea fiind o perturbare a orientării momentelor elementare, corespunde unei creşteri a dezordinii moleculare şi prin urmare a entropiei, care măsoară această dezordine. Dacă am vrea să menţinem constantă temperatura corpului care se demagnetizează, ar trebui să-i furnizăm entropie, deci căldură. În caz contrar, dacă procesul este „adiabatic", căldura necesară perturbării orientării magneţilor elementari este împrumutată de la alte mişcări moleculare, iar corpul se răceşte. Acest efect ar fi dificil de pus în evidenţă în substanţele paramagnetice, la temperatura camerei. Dar în vecinătatea lui zero absolut, el trebuie să fie considerabil, după cum au remarcat în 1924 Debye şi Giauque, şi aceasta pentru două motive: saturaţia magnetică redusă în cîmpuri intense şi valoarea foarte mică a căldurii specifice corespunzătoare vibraţiilor atomilor în solide.

Experienţa a fost efectuată asupra unor cristale paramagnetice introduse în heliu lichid (Giauque, de Hass, Simon). Metoda „demagnetizării adiabatice" a fost pusă la punct şi a permis explorarea domeniului temperaturilor mai mici de 1°K, pînă dincolo de 0,01°K.

PUNCTUL CURIE, TRANZIŢIILE DE SPEŢA A DOUA. Un alt fenomen important poate fi explicat în mod analog: cînd o substanţă feromagnetică este adusă treptat spre punctul său Curie, magnetizarea sa spontană, care era iniţial apropiată de saturaţie, scade din ce în ce mai rapid: printre orientările momentelor elementare se stabileşte dezordinea, ceea ce are ca rezultat o creştere a entropiei, care se adaugă la entropia celorlalte mişcări atomice. Orice substanţă feromagnetică trebuie deci să prezinte sub punctul Curie o anomalie a căldurii specifice: aceasta creşte, trece printr-un maxim ascuţit la temperatura Curie şi scade apoi destul de brusc la o valoare „normală". P. Weiss a efectuat calculul şi măsurările (1908); experienţa a verificat în mare măsură previziunile teoriei cîmpului molecular.

Afară de anomalia căldurii specifice, se prevede şi se observă o anomalie corespunzătoare a coeficientului de dilatare (Chévenard, Bauer, Fowler şi Kapiţa, 1929). Punctele Curie ale substanţelor feromagnetice au fost astfel primele „puncte de tranziţie de speţa a doua" sau „tranziţii ordine-dezordine" (fără schimbare de fază) care au fost studiate aproape complet. Aceste fenomene au fost definite şi analizate din punct de vedere termodinamic general în 1933, de Ehrenfest, dar teoria cîmpului molecular a lui Weiss a servit ca prim model la interpretarea lor amănunţită.

Această teorie este dealtfel o aproximaţie semiempirică. În fizica clasică nimic nu justifică existenţa unei energii atît de mari de interacţiune, proporţională cu pătratul magnetizării. Weiss a înţeles că ea era prea mare pentru a putea fi atribuită forţelor magnetice. De fapt, ea este de origine cuantică, ca şi momentele magnetice.

MAGNETONUL. Începînd din 1913, pe baza lucrărilor fundamentale ale lui Niels Bohr asupra structurii atomilor, s-a dezvoltat teoria cuantică a magnetismului. Aproape imediat s-a remarcat că cuantificarea orbitelor electronice antrenează existenţa unui moment magnetic elementar, a cărui valoare este determinată de constanta h a lui Planck, de sarcina elementară e şi de masa m a electronului; acel moment magnetic a fost numit *magnetonul lui Bohr.* În acest mod au fost justificate ipotezele lui Ampère, Weber şi Langevin.

În ultimii ani, P. Weiss şi colaboratorii săi efectuaseră un mare număr de măsurări precise ale coeficienţilor de magnetizare paramagnetici, pentru a deduce din formula lui Langevin valoarea momentelor atomice. Încă din 1911, Weiss trăsese concluzia că toate aceste momente erau multipli întregi ai unui moment elementar, *magnetonul lui Weiss*, pentru care experienţa părea să furnizeze o valoare puţin mai mare decît o cincime din magnetonul lui Bohr. Totuşi, măsurătorile exacte efectuate în 1918 de Bauer şi Piccard asupra gazelor paramagnetice — în care rotaţia liberă a momentelor elementare este aproape sigură — nu au verificat teoria magnetonului lui Weiss, ci mai degrabă, ca în cazul oxigenului, pe cea a lui Bohr[1].

TEORIA CUANTICĂ. CUANTIFICAREA SPAŢIULUI. Dezvoltarea rapidă a teoriei cuantelor a modificat şi a clarificat treptat ideile asupra magnetismului. În 1915, A. Sommerfeld a extins metodele de cuantificare ale lui Bohr la mişcările electronilor în spaţiu. El a demonstrat că nu se poate păstra ipoteza (făcută de Langevin) a unei posibilităţi egale a tuturor orientărilor momentelor elementare în raport cu cîmpul magnetic. Şi aici, ca şi în alte domenii, se introduce discontinuitatea. Pentru „orbitele cu un număr cuantic azimutal" de exemplu, momentul magnetic rezultant nu poate fi, în principiu, decît paralel, antiparalel sau perpendicular pe cîmp.

În 1921, Stern şi Gerlach verifică printr-o experienţă directă această „cuantificare a spaţiului": un jet de atomi de argint emis în vid se separă, într-un cîmp magnetic neuniform, în două jeturi distincte, corespunzătoare orientărilor paralele şi antiparalele. A treia componentă lipseşte. Abaterea observată permite calculul valorii momentului: se găseşte aproximativ un magneton Bohr. Această metodă a jeturilor atomice (sau moleculare) s-a aplicat imediat la magnetism sub forma sa elementară, fără a se limita — ca măsurările clasice — la efecte statistice. Ea a fost foarte mult folosită în continuare.

SPINUL ELECTRONIC ŞI MOMENTUL SĂU MAGNETIC. În 1925, Uhlenbeck şi Goudsmit au descoperit că structura de multiplet a liniilor spectrale şi efectul lor Zeeman se explică complet dacă se admite că starea unui electron nu este în întregime descrisă de poziţia şi de viteza sa de translaţie în spaţiu, ci că este animată şi de o rotaţie în jurul lui, numită „spin", care reprezintă o mărime esenţialmente cuantificată: momenul său cinetic este de o semicuantă ($h/2$) şi creează un moment magnetic egal cu un magneton Bohr. Raportul dintre cel din urmă şi cel dintîi reprezintă deci dublul valorii pe care o furnizează calculul pentru o orbită electronică (e/m, în loc de $e/2m$); acest rezultat este conform cu rezultatul obţinut în teoria clasică de H. A. Lorentz pentru o sferă electrizată. În sfîrşit, într-un cîmp exterior, aceste momente nu pot lua decît două orientări: paralelă sau antiparalelă.

---

[1] Trebuie subliniat faptul că magnetonul lui Bohr a fost descoperit (pe cale teoretică) în mod independent şi de prof. Ştefan Procopiu din Iaşi, care-l publică în 1912 în revista Adamachi. Cu această ocazie am dori să menţionăm că acad. Ştefan Procopiu (1890—1972) este în acelaşi timp autorul multor descoperiri ingenioase printre care cităm „efectul Procopiu" (efectul Barkhausen circular al discontinuităţilor de magnetism), „fenomenul Procopiu" (depolarizarea longitudinală a luminii de către soluţiile coloidale şi suspensiile cristaline). În 1954 stabileşte, în urma unor îndelungi şi precise măsurători, hărţile magnetice ale României. Tradiţia cercetărilor de magnetism din Iaşi este astăzi continuată şi extinsă de prof. V. Tutovan şi echipa sa. — *N.I.-P.*

EFECTE GIROMAGNETICE. Descoperirea spinului electronului, sugerată numai prin observaţii optice, avea să modifice curînd, în mod profund, reprezentările noastre asupra fenomenelor magnetice. Ea avea să furnizeze întîi cheia unei enigme rezultate din studiul *efectelor giromagnetice*, descoperite independent în 1914-15 de Barnett în America şi de Einstein şi de Haas în Europa. Principiul acestor experienţe este destul de simplu.

Se ştia de peste 20 de ani că orice moment magnetic este legat de momentul cinetic al unei particule electrizate — de exemplu al unui electron. Se pot deci prevedea două efecte măsurabile:

1) Dacă, prin inversarea bruscă a cîmpului, se inversează magnetizarea unei mici bare de fier moale, se schimbă sensul de rotaţie şi momentul impulsului electronilor săi magnetici. Apare un cuplu; măsurarea acestuia furnizează *raportul giromagnetic* al momentului magnetic elementar faţă de momentul cinetic. Teoria orbitelor electronice furnizează valoarea $e/2m$; experienţele fine şi precise ale lui de Haas (1915) au furnizat o valoare dublă, e/m.

2) Dacă, dimpotrivă, se roteşte brusc un mic cilindru de fier, se comunică ansamblului electronilor săi un moment cinetic şi, prin urmare, un moment magnetic.

Acest fenomen de magnetizare prin rotaţie a fost prevăzut de Barnett, care l-a măsurat (1915); fenomenul a furnizat pentru raportul giromagnetic aceeaşi valoare ca şi efectul invers.

Dacă importanţa şi precizia lor nu ar fi fost subestimate, aceste experienţe ar fi permis descoperirea spinului cu zece ani mai devreme. După ce au fost corect înţelese, ele au demonstrat că *feromagnetismul este în esenţă un efect de spin:* momentele magnetice sînt cele ale spinului, iar cîmpul molecular reprezintă un cuplaj între spinii vecini, care tinde să le dea direcţii paralele într-un domeniu Weiss.

Dar toate acestea nu puteau deveni cu totul clare decît după 1925, odată cu dezvoltarea noii mecanici cuantice.

DEZVOLTAREA TEORIEI CUANTICE A MAGNETISMULUI. Totuşi, Bohr subliniase încă din 1920 că para- şi feromagnetismul reprezintă un privilegiu al *elementelor de tranziţie*, adică al grupelor de elemente chimice la care se dezvoltă progresiv un strat electronic *intern* incomplet. Se putea astfel justifica, cel puţin în anumite cazuri, ipoteza rotaţiei libere.

În 1923, Sommerfeld a arătat că ar fi posibil ca prin cunoaşterea efectelor Zeeman, să se calculeze *apriori*, pe cale spectroscopică, „numărul de magnetoni" ai atomilor paramagnetici. Calculul a fost efectuat în 1925 pentru ionii „pămînturilor rare" de către Hund, prin luarea în considerare a spinului şi a cuplării sale cu orbita. Perfecţionat în mecanica ondulatorie de Van Vleck (1932), acest calcul a explicat în mod remarcabil faptele observate în special de Cabrera (1929). Nu mai era vorba de o simplă scară a numerelor întregi, ci de expresii matematice mult mai complicate.

În ceea ce priveşte ionii din familia fierului, pătura electronică incompletă este mai puţin profundă decît la pămînturile rare, nu mai există rotaţie liberă, iar orbitele sînt aproape blocate. Teoria lor a fost perfecţionată treptat.

Mecanica ondulatorie a permis să se înţeleagă şi absenţa componentei centrale din experienţa lui Stern şi Gerlach. Aşa-numitelor orbite cu o cuantică azimutală (starea fundamentală a hidrogenului, a atomilor alcalini, a argintului) le corespund funcţii de undă „orbitale" fără moment cinetic sau moment magnetic. Nu mai rămîne decît momentul de spin şi acesta este pus în evidenţă de experienţă, împreună cu cele două orientări ale sale.

În 1927, P. Debye, pe de o parte, şi L. Brillouin, pe de alta, au pus bazele legii cuantice generale a paramagnetismului şi au demonstrat că în cîmpurile magnetice slabe formula lui Langevin rămîne o bună aproximaţie şi permite calculul corect al momentelor elementare.

INTERPRETAREA DATĂ DE HEISENBERG FEROMAGNETISMULUI. Tot mecanica cuantică a scos în evidenţă adevărata natură a cîmpului molecular Weiss, prin introducerea acestei noţiuni într-un cadru mai general. În 1926, Heisenberg discutase „ecuaţia de undă" a atomului de heliu (cu doi electroni). Soluţia aproximativă a acestei ecuaţii — care trebuia să ţină seamă de spin, de principiul lui Pauli şi de indiscernabilitatea electronilor — a făcut să apară, în expresia energiei, un termen neaşteptat, *energia de schimb*, legat de faptul că doi electroni îşi pot schimba locurile şi rolurile într-un edificiu atomic fără să observăm acest fapt — chiar dacă ei sînt separaţi de o „barieră de potenţial" ce nu poate fi depăşită în cadrul teoriei clasice.

Un calcul analog, conţinînd acelaşi termen de schimb, a permis un an mai tîrziu lui Heitler şi London să fundamenteze teoria cuantică a legăturii chimice. În atomul de heliu, ca şi în molecula de hidrogen şi în majoritatea moleculelor cu număr par de electroni, cuplajul cuantic dintre aceştia face ca spinii lor să se opună doi cîte doi în starea fundamentală de energie minimă. Din această cauză, edificiile moleculare sînt diamagnetice.

În 1928, Heisenberg a extins această teorie la reţelele cristaline feromagnetice, ceea ce a constituit o problemă dificilă care a necesitat ipoteze destul de arbitrare şi multe aproximaţii. El a demonstrat totuşi că cîmpul molecular îşi are originea în energiile de schimb electronic între atomii vecini şi că, în acest caz, datorită numărului de vecini şi a distanţelor lor, starea stabilă de energie minimă corespunde paralelismului cel puţin al unei părţi a spinilor, adică unei magnetizări spontane.

Odată cu interpretarea cuantică a cîmpului molecular de către Heisenberg, contemporană lucrărilor lui Van Vleck asupra paramagnetismului, teoria magnetismului s-a stabilit pe baze solide care aveau să-i permită o nouă dezvoltare în următoarele trei decenii. Această dezvoltare a fost atît de rapidă și în direcții atît de diverse, încît sîntem obligați să expunem în paralel diferitele ramuri ale magnetismului.

UNDELE DE SPIN. Stabilind natura interacțiilor dintre purtătorii de momente magnetice, Heisenberg a arătat că acestea au o rază scurtă de acțiune, astfel încît un atom dat nu este în interacție decît cu cîțiva vecini. Această remarcă deosebit de importantă a deschis calea aproape tuturor descoperirilor ulterioare, prin introducerea noțiunii de *cîmp molecular local*, care se poate defini drept cîmpul molecular fictiv care acționează asupra unui moment magnetic. Acest cîmp traduce interacțiile dintre acest moment și momentele atomilor vecini. Pe baza acestei remarci, Felix Bloch a făcut două descoperiri fundamentale pentru interpretarea fenomenelor magnetice. Prima (1934) se referă la magnetizarea la temperaturi foarte joase.

Să considerăm o substanță feromagnetică la zero absolut: momentele magnetice ale tuturor atomilor săi sînt paralele. Ridicînd temperatura, căldura perturbă această ordine și apar fluctuații. Cînd unul dintre momente își schimbă brusc direcția medie, această perturbare magnetică acționează asupra vecinilor și se transmite din aproape în aproape la atomi din ce în ce mai depărtați, printr-un mecanism de propagare analog propagării în solide a acelor perturbări elastice care servesc la descrierea agitației termice. Acestea se numesc *unde de spin* și reprezintă noțiuni fundamentale cu ajutorul cărora se poate explica comportarea substanțelor magnetice la temperaturi joase. După cum cuantificarea undelor de agitație termică a dat naștere noțiunii de „fonon", undele de spin au condus la introducerea unei noi cvasiparticule, „magnonul", caracterizată prin energia și prin impulsul său. Realitatea fizică a noțiunii de magnon a fost dealtminteri confirmată experimental, deoarece s-a putut observa recent ciocnirea neelastică a unui magnon cu un neutron.

PEREȚII LUI BLOCH. MAGNETIZAREA TEHNICĂ. A doua descoperire a lui Felix Bloch (1932), anterioară dealtfel celei a undelor de spin, se referă la domeniile Weiss și permite explicarea stabilității lor. Aceste domenii fuseseră introduse oarecum arbitrar pentru a împăca existența magnetizării spontane cu absența magnetizării globale în cazul unui cîmp nul. Studiind condițiile în care două domenii vecine pot coexista, F. Bloch a arătat că ele sînt separate de o zonă perturbată, în care momentele descriu o spirală care unește cele două domenii. Această zonă se numește *perete Bloch*, iar grosimea lui este de ordinul a vreo sută de distanțe interatomice; lui îi este atașată o anumită energie care depinde de energia de schimb și de anizotropia magnetică. Articolul lui F. Bloch, foarte teoretic în aparență, avea să constituie sursa unui mare număr de aplicații practice: el cuprindea de fapt cheia magnetizării tehnice.

Pînă în acea epocă, în mod paradoxal, fenomenele magnetice cele mai obișnuite, descrise pînă și în manualele elementare — cum ar fi histerezisul sau existența magneților permanenți — nu putuseră fi explicate printr-o teorie a magnetismului, deși aceasta putea fi considerată suficient de dezvoltată. Într-adevăr, magnetizarea unei substanţe feromagnetice în cîmpurile magnetice obişnuite poate fi analizată prin deplasările acestor pereţi Bloch, care se fixează în astfel de poziţii în care energia este minimă. Această analiză a fost mult aprofundată de Richard Becker între 1930 şi 1940. O lucrare a lui R. Becker şi W. Döring, *Ferromagnetismus* (1939) a rezumat cunoştinţele din acest domeniu în pragul celui de-al doilea război mondial. Ea reprezintă şi acum o autoritate în domeniu, deşi cercetările mai recente ale lui Louis Néel şi Charles Kittel au modificat complet, în anumite puncte, ideile lui Becker. Se poate considera că actualmente, în domeniul magnetizării tehnice, ansamblul fenomenelor este explicat, deşi în general este dificil să descriem în fiecare caz amănunţit curbele de magnetizare şi influenţa diferiţilor parametri care pot să le modifice (tensiuni mecanice, impurităţi etc.). Această dificultate provine mai degrabă din complexitatea fenomenelor, care ne conduce la utilizarea unor modele simplificate, decît din ignoranţa noastră asupra mecanismului microscopic.

Această aprofundare a magnetizării tehnice a făcut posibilă perfecţionarea considerabilă a performanţelor materialelor magnetice folosite în industrie, fie că acestea sînt substanţe de mare permeabilitate, fie că sînt substanţe cu cîmp coercitiv mare sau cu magnetizare mare, folosite la fabricarea magneţilor permanenţi. În acest domeniu, au fost realizate progrese mari prin folosirea pulberilor formate din grăunţe atît de fine, încît fiecare dintre ele nu conţine decît un singur domeniu. Grăunţele puternic anizotrope, studiate printre alţii de Charles Guillaud, au un cîmp coercitiv considerabil, deoarece pentru a inversa magnetizarea trebuie învinsă anizotropia lor, iar deplasările pereţilor nu mai sînt posibile. Am citat acest caz, ca exemplu, pentru a arăta perfecţionarea unei metode tehnice datorată progreselor ştiinţei fundamentale.

ANTIFEROMAGNETISMUL. Teoria lui Heisenberg a condus la noţiunea, deosebit de fecundă, de cîmp molecular local, care, la rîndul ei, a condus la descoperirea unor noi specii magnetice. În teoria feromagnetismului a lui Weiss, acest cîmp molecular era pozitiv, adică paralel cu rezultanta momentelor magnetice ale atomilor vecini, ceea ce era natural din punctul de vedere al interacţiilor magnetice. În cazul interacţiilor provenite din energia de schimb, nu există nici un motiv ca ele să fie pozitive. Cazul cîmpului molecular negativ a fost considerat *apriori* de L. Néel în 1932 şi apoi, independent, de L.D. Landau în 1933. El conduce la antiferomagnetism.

Ca şi o substanţă feromagnetică, cea antiferomagnetică prezintă o temperatură caracteristică sub care apare o stare ordonată a momentelor magnetice. Într-o substanţă feromagnetică toate momentele sînt paralele; în cea antiferomagnetică, dimpotrivă, o jumătate dintre momente este aliniată într-un sens, iar cealaltă în sens opus, astfel că magnetizarea rezultantă este nulă. Temperatura caracteristică este totuşi însoţită de anomalii ale proprietăţilor fizice cu totul analoage celor ce există în vecinătatea punctului Curie: anomalii ale căldurii specifice, ale dilatării, ale maximumului de susceptibilitate.

Deşi teoria lui Néel permitea interpretarea tuturor proprietăţilor substanţelor antiferomagnetice, ea putea fi considerată doar ca un model satisfăcător. Dar o confirmare directă a dispunerii momentelor magnetice a fost adusă pe baza *difracției neutronilor termici*.

Aceste particule, înzestrate cu un moment magnetic asupra căruia pot acționa momentele magnetice atomice, particule care au o lungime de undă de același ordin de mărime (1 Å) ca și distanțele interatomice, sînt folosite pentru determinarea structurilor magnetice, tot așa cum radiațiile X sînt folosite pentru determinarea structurilor atomice. Prima experiență de difracție a neutronilor, aplicată unei substanțe antiferomagnetice, a fost efectuată în 1951 de Shull, Strauser și Wollan la Oak Ridge (S.U.A.) asupra oxidului de mangan (MnO). Apariția liniilor de suprastructură așteptate a reprezentat o confirmare strălucită a teoriei lui Néel. Ea a constituit, de asemenea, o dovadă a importanței pe care poate să o ia această nouă metodă în studiul magnetismului.

FERIMAGNETISMUL. Noțiunea de cîmp molecular negativ avea să permită interpretarea cantitativă a proprietăților unei noi categorii de substanțe magnetice, cele *ferimagnetice*. Denumirea lor provine de la ferite, care sînt oxizi micști cu formula Fe_2O_3, MO (în care M reprezintă un metal bivalent); proprietățile lor au fost explicate de către Néel.

Într-o substanță ferimagnetică — ca și în una antiferomagnetică — momentele magnetice sînt orientate în sensuri opuse. Dar în timp ce, în antiferomagnetism, aceste momente sînt egale și în număr egal, astfel că magnetizarea globală este nulă, nu același lucru se întîmplă la o substanță ferimagnetică, care poate prezenta ca urmare o magnetizare spontană sub temperatura critică.

Ideea unui cuplaj negativ care să creeze totuși o magnetizare permanentă se regăsește încă în teza lui Guillaud, anterioară lucrării lui L. Néel, dar acesta din urmă a știut să prezinte o teorie cantitativă care să clarifice comportarea substanțelor ferimagnetice, legată în același timp și de fero- și de antiferomagnetism. Această înțelegere mai clară a fenomenelor a permis obținerea unor mari progrese în tehnica feritelor și, în general, a materialelor magnetice izolatoare folosite, de exemplu, în domeniul radiofrecvențelor. Dar acest aspect practic nu trebuie să mascheze interesul teoretic fundamental al acestor studii, de care se leagă în special numele lui Snoeck și Gorter.

În studiul ferimagnetismului și în special în studiul feritelor, difracția neutronilor a adus cele mai mari servicii, permițînd verificarea corectitudinii structurilor propuse. Dar, de cîțiva ani încoace, această metodă nu se mai mărginește doar la rolul de control: datorită acestei metode au fost descoperite noi structuri magnetice, din ce în ce mai complicate. Studiul acestor structuri și al stabilității lor relative reprezintă una dintre ramurile cele mai noi ale magnetismului, în plin avînt, asupra căreia se concentrează toate tehnicile moderne ale magnetismului — ca difracția neutronilor, rezonanța magnetică, efectul Mössbauer, cîmpurile intense; aceasta, deoarece măsurările clasice ale susceptibilității sau magnetizării spontane singure sînt insuficiente pentru a rezolva fără ambiguități problemele complicate care apar.

RELAXAREA PARAMAGNETICĂ. Unul dintre capitolele cele mai recente ale magnetismului, care a apărut doar de vreo 15 ani, îl constituie folosirea metodelor de radiofrecvenţă la studiul magnetismului. Prima experienţă în acest domeniu a avut loc în 1913 prin descoperirea de către V.K. Arkadiev a absorbţiei selective a undelor radioelectrice de frecvenţă dată în corpurile feromagnetice. Această experienţă a rămas fără urmări, dar a permis lui Dorfmann (1923), apoi lui Landau şi Lifşiţ (1935), să lămurească teoretic condiţiile de rezonanţă ale momentelor magnetice dintr-o substanţă feromagnetică. Experienţele de rezonanţă propriu-zise nu au fost realizate decît după 30 de ani, odată cu progresele considerabile obţinute în tehnica radiofrecvenţelor. Ele au fost însă precedate de descoperirea *relaxării paramagnetice* de către C.J. Gorter (1936), ale cărui experienţe au fost interpretate de H.B.G. Casimir şi F.K. du Pré (1938).

Să considerăm un ansamblu de momente magnetice. Ele se află în echilibru termodinamic între ele şi cu ceilalţi atomi. Dacă modificăm brusc condiţiile acestui echilibru, sistemul nostru va evolua spre o nouă stare de echilibru cu o anumită întîrziere. În realitate, intervin două constante de timp, una legată de timpul de stabilire a echilibrului termodinamic în interiorul sistemului de spini (timpul de relaxare spin-spin) şi cealaltă de timpul de stabilire a echilibrului termodinamic între sistemul de spini şi vibraţiile reţelei (timpul de relaxare spin-reţea). Cel de-al doilea fiind mult mai mare decît primul, se poate vorbi de o *temperatură de spin*, care poate fi diferită de cea a reţelei. Această întîrziere în stabilirea echilibrului are drept consecinţă apariţia, în măsurările efectuate la frecvenţe înalte, a unei componente de magnetizare în cvadratură cu cîmpul. Din măsurarea susceptibilităţii complexe (care traduce formal existenţa unei componente în cvadratură) se pot determina, cu anumite ipoteze (privind în special existenţa unei temperaturi de spin), timpii de relaxare, aprofundîndu-se astfel mecanismul de cuplaj între momentele magnetice şi reţea (Gorter, Van Vleck).

REZONANŢA ELECTRONICĂ. În 1944, Zavoiski a descoperit, la Kazan (U.R.S.S.), *rezonanţa paramagnetică electronică.*

Această descoperire a fost efectuată tîrziu, după un anumit număr de încercări infructuoase, al căror eşec provenea, fie dintr-un exces de precauţii, fie din faptul că — pentru a mări semnalele — s-au folosit solide conţinînd prea mulţi centri paramagnetici, ceea ce conducea la o astfel de lărgire a liniei de rezonanţă, încît aceasta devenea inobservabilă, fie din faptul că se lucra cu cristale prea perfecte, pentru care timpii de relaxare sînt prea lungi, ceea ce distrugea semnalul de rezonanţă.

Într-adevăr, rezonanţa electronică a beneficiat de cunoştinţele obţinute în rezonanţa nucleară, descoperite la numai cîteva luni după ea; datorită în special cercetărilor colectivelor sovietice (Altschuler, Zavoiski etc.) şi britanice (Bleaney, Pryce) ea a devenit instrumentul de studiu cel mai fin al paramagnetismului. Sensibilitatea metodei permite în special studiul solidelor ce conţin un foarte mic număr de purtători de momente magnetice, ca de exemplu substanţele ce conţin radicali liberi sau defecte produse prin iradiere. Aceasta reprezintă o nouă direcţie, în care magnetismul clasic nu se putea îndrepta din cauza lipsei de sensibilitate. Un alt aport al rezonanţei paramagnetice l-a constituit descoperirea experimentală a structurii hiperfine de către Penrose şi Bleaney (1949), adică a efectului cuplajului între momentul magnetic electronic şi momentul magnetic nuclear, cuplaj a cărui interpretare teoretică a fost dată de Abragam și Pryce (1951).

Prin aceeași perioadă (1946) Griffiths a descoperit rezonanța feromagnetică, întrevăzută cu 30 de ani mai înainte de Arkadiev. Interpretarea sa, complicată de existența unui cîmp demagnetizant care depinde de forma probei, a fost dată puțin mai tîrziu de Ch. Kittel.

MAGNETISMUL NUCLEAR. Tot în timpul ultimilor 30 de ani, s-a dezvoltat și *magnetismul nuclear*. El a apărut din spectroscopia optică, deoarece marea precizie a măsurătorilor spectroscopice a permis detectarea unei foarte mici energii de interacție între momentele magnetice electronice și momentele magnetice ale nucleelor. Măsurătorile interferențiale au arătat că multe dintre liniile spectrale au o structură „hiperfină“, fiecare linie fiind formată din mai multe componente, a căror abatere este foarte mică. Încă din 1924, W. Pauli a atribuit această structură existenței unui moment magnetic nuclear, energia atomului depinzînd de orientarea reciprocă a acestui moment nuclear și a momentului atomic. Această idee a servit drept bază unui articol teoretic fundamental al lui Fermi (1930), în care acesta a calculat interacția magnetică electron-nucleu. Pentru a concorda cu rezultatele experimentale, el a trebuit să presupună că momentul magnetic nuclear este foarte mic, ceea ce a uimit pe fizicienii contemporani.

Fermi scrie, el însuși, în raportul prezentat la Congresul Solvay din 1930: „Aplicînd nucleului ideile obișnuite asupra compunerii vectorilor magnetici, am fi conduși să considerăm că, cel puțin în general, momentul său magnetic ar trebui să fie de ordinul de mărime al magnetonului lui Bohr. Această previziune este total contrazisă de experiență... Putem trage concluzia că momentul magnetic al nucleului trebuie să fie de ordinul unei miimi din magnetonul lui Bohr“.

O astfel de concluzie este greu de înțeles dacă se admite, cum se făcea în acea perioadă, că nucleul conține protoni și electroni. Dimpotrivă, ea este evidentă dacă se consideră, cum a făcut Heisenberg din 1934, că nucleul este format din protoni și neutroni. Deoarece protonul trebuie să satisfacă ecuațiile lui Dirac, momentul său magnetic propriu, a cărui existență este chiar o consecință a acestei ecuații, trebuie să fie de vreo 2 000 de ori mai mic decît momentul magnetic al electronului.

Se numește, „magneton nuclear“ valoarea teoretică furnizată astfel de o formulă aproape identică cu cea a „magnetonului lui Bohr“, în care masa electronului este înlocuită cu cea a protonului.

Este curios că acest argument n-a fost folosit mai demult pentru a admite o structură a nucleului ca structura propusă de Heisenberg. Dar interpretarea măsurătorilor optice nu putea furniza valori precise ale momentelor magnetice nucleare. Aceste determinări precise au fost efectuate de Rabi și colaboratorii săi începînd din 1934, prin metoda jeturilor atomice, al căror punct de pornire îl constituie experiența lui Stern și Gerlach. J.J. Rabi a ajuns din perfecționare în perfecționare la experiența de *rezonanță magnetică a jeturilor atomice* (1939).

Această experienţă, care i-a adus autorului ei premiul Nobel, este una dintre cele mai frumoase datorită dificultăţilor ce a trebuit să fie învinse — şi dintre cele mai fundamentale — deoarece are la bază chiar principiul rezonanţei nucleare. Astfel, momentul magnetic este măsurat prin intermediul frecvenţei sale Larmor într-un cîmp uniform, în care dispozitivul de deviere al lui Stern şi Gerlach nu a servit decît la detectarea rezonanţei ce se produce cînd frecvenţa cîmpului de radiofrecvenţă, căruia îi sînt supuse nucleele, este egală cu această frecvenţă Larmor.

Această metodă foarte precisă a permis lui Rabi şi colaboratorilor săi să măsoare un mare număr de momente magnetice nucleare; acestea nu sînt — nici chiar pentru proton — multipli întregi ai magnetonului nuclear. În particular, folosind metoda lui Rabi, Alvarez şi Bloch au putut să măsoare, după 1940, momentul magnetic al neutronului, egal cu $1,91290 \pm 9 \cdot 10^{-5}$ magnetoni nucleari. Acest rezultat este deosebit de important, deoarece este în contradicţie cu reprezentarea naivă a particulelor nucleare conform căreia momentul magnetic ar fi asociat existenţei unei sarcini electrice.

Pentru a face metoda de rezonanţă mai uşor de folosit, trebuia înlocuită metoda de detecţie, deosebit de dificilă, folosită de Rabi, printr-o metodă de detecţie mai directă. Acest lucru a fost efectuat cîţiva ani mai tîrziu. În 1946, Felix Bloch de la Universitatea din Stanford din California (S.U.A.), E.M. Purcell şi R.V. Pound de la Universitatea Harvard (S.U.A.) au pus în evidenţă rezonanţa magnetică a nucleelor prin observarea directă a forţei electromotoare induse de mişcarea momentelor lor magnetice.

Încă de la apariţia primei lucrări, Felix Bloch a ştiut să introducă în ecuaţiile fenomenologice mărimile importante, necesare la interpretarea rezonanţei nucleare: timpii de relaxare spin-spin şi spin-reţea, despre care am vorbit şi la rezonanţa paramagnetică electronică. Dar acum aceşti spini sînt nucleari; ei sînt observaţi într-o substanţă diamagnetică; timpii de relaxare rezultaţi au ordine de mărime cu totul diferite de cele de la rezonanţa paramagnetică electronică. Şi frecvenţele de rezonanţă în cîmpuri obişnuite sînt de mii de ori mai mici datorită micimii momentelor magnetice nucleare, ceea ce conduce la o simplificare considerabilă a aparaturii care foloseşte radiofrecvenţe obişnuite (cîteva zeci de megacicli).

Această rezonanţă nucleară — în special cea a protonului — a fost foarte curînd folosită la măsurarea interacţiilor dintre momentele magnetice nucleare dintr-o moleculă diamagnetică. De aici au rezultat aplicaţii fizico-chimice imediate, care au condus la adoptarea generalizată a metodei de rezonanţă în laboratoarele de chimie şi la un număr considerabil de lucrări, deoarece la ora actuală există peste 2000 de publicaţii care îi sînt consacrate.

Dar nu numai în fizica nucleară şi în chimie, ci şi în fizica clasică studiul proprietăţilor magnetice ale nucleelor ne-a adus date noi.

Într-adevăr, momentul magnetic legat de spinul unui nucleu nu poate lua, în raport cu un cîmp magnetic, decît un mic număr de orientări, de *stări energetice* distincte. Din această cauză el constituie un sistem deosebit de simplu, iar ansamblul momentelor ce interacţionează într-o substanţă reprezintă unul dintre acele ansambluri pe care le studiază termodinamica statistică, adică un ansamblu redus la esenţial, care poate fi foarte slab cuplat de mediul care îl înconjură — printr-un timp de relaxare extrem de lung. Se poate deci uşor defini şi observa o temperatură de spin diferită de cea a reţelei. Mai mult, se poate ca prin acţiunea unui cîmp de radiofrecvenţe să se populeze de preferinţă nivelele de energie superioare, contrar legii lui Boltzmann, sau mai degrabă conform unei legi a lui Boltzmann cu *o temperatură absolută negativă*. Printre lucrările dedicate acestui subiect, trebuie citate cele ale lui A. Abragam, care a reuşit — printre altele — să obţină eşantioane de substanţe hidrogenate, puternic polarizate, adică în care o parte considerabilă din protoni au spinii paraleli.

La fel cum altădată piatra magnetică ne-a evidenţiat existenţa unui cîmp de forţe necunoscute, şi astăzi studiul proprietăţilor magnetice ale materiei, atît de specializat în aparenţă, ne deschide în toate direcţiile orizonturi noi, în optică, în chimie, în termodinamică, în fizica nucleară. Amintim că, din acest punct de vedere, momentul magnetic „anormal" al protonului şi mai ales cel al neutronului, au reprezentat, din punct de vedere istoric, primii indici ai unei structuri complexe a nucleonilor[2].

---

[2] În România, cercetările de rezonanţă magnetică şi probleme asociate au în prezent o extensiune deosebită, urmărindu-se atît scopuri fundamentale cît şi aplicative. Printre rezultatele relevante obţinute de acad. Ioan Ursu şi echipa sa de cercetare — dr. Voicu Lupei, dr. Emil Burzo, dr. Sergiu Nistor şi alţii — se remarcă studiul defectelor de iradiere, al proceselor de relaxare, aplicarea RMN la analiza izotopică a uraniului şi a altor materiale nucleare, formarea complecşilor de valenţă în corpuri cristaline cu anumite simetrii ale reţelei, proprietăţile magnetice ale aliajelor pămînturilor rare cu fier, cobalt, nichel. La Cluj se semnalează, de asemenea, un grup de cercetători cu preocupări permanente în domeniul rezonanţei magnetice, din care cităm pe prof. Iuliu Pop, prof. Alex. Nicula, prof. Alex. Bodi şi prof. Emil Tătaru. Rezonanţa magnetooptică, de tip Kastler, este şi ea abordată în România (dr. Ioan M. Popescu). Cercetări de rezonanţă magnetică, în scopuri aplicative, se întreprind şi în colectivul dr. Paul Drăghicescu de la Institutul de fizică atomică.

O prezentare modernă a *rezonanţei electronice de spin* şi a implicaţiilor ei în cercetare şi tehnică se găseşte în cartea cu acelaşi nume a acad. Ioan Ursu (Edit. Acad. R.S.R., Bucureşti, 1965 şi Dunod, Paris, 1967). — *N.I.-P.*

CAPITOLUL IX

Electricitatea, electronica și radioelectricitatea

În 1900, în fascicolul catodic al unui tub cu vid era descoperit electronul. Mulți se îndoiau încă de existența sa. Doar una dintre proprietățile sale era cunoscută, aproximativ, și anume raportul e/m dintre sarcina și masa sa. Cincizeci de ani mai tîrziu se nasc o știință cu totul nouă, electronica, și o întreagă categorie de ingineri, electroniștii.

În 1900, savanți ca Drude și J.J. Thomson încercau abia — urmîndu-l pe Lorentz — să-și imagineze că în metale curentul electric este purtat de electronii negativi „liberi": acestea constituiau începuturile teoriei electronice a metalelor. Astăzi, datorită mecanicii cuantice, dificultățile majore de care se loveau acești pionieri au dispărut. Teoria s-a extins la semiconductoare și chiar la izolatoare; se fac raționamente sigure asupra mișcării electronilor, asupra „golurilor pozitive", se prevede comportarea lor, se construiesc redresoare și „tranzistoare" cu numeroase aplicații.

Primele semnale radioelectrice traversau Atlanticul în 1901. În cîteva decenii radioelectricitatea a devenit, datorită electronicii, una dintre industriile cele mai importante din lume și, în același timp, un nou mijloc de explorare a Universului.

În această perioadă atît de fecundă, bazele electromagnetismului au rămas puternice, abia atinse de teoria cuantelor, cel puțin din punct de vedere „macroscopic". Dar cunoștințele noastre asupra materiei, asupra particulelor electrice care o compun, s-au aprofundat și clarificat pînă la un grad inimaginabil acum 60 de ani, în timp ce în ultimele decenii metodele tehnice s-au dezvoltat cu o îndrăzneală de concepție și cu o intensitate a mijloacelor care ar fi părut fabuloase în acea epocă.

A. DESCOPERIREA ELECTRONULUI

Cînd G. Johnstone Stoney a dat, în 1891, denumirea de electron unității naturale de sarcină electrică, pe care o poartă un ion monovalent în electroliză, nu era cunoscută cu precizie existența acestei particule de masă mult mai mică decît cea a ionilor și căreia îi dăm astăzi denumirea de electron. Totuși, cu 10 ani mai înainte, Helmholtz ajunsese la concluzia că „electricitatea, atît pozitivă cît şi negativă, este împărţită în particule elementare definite, care se comportă ca nişte atomi de electricitate". În urma experienţelor pe care le-a efectuat după 1747, Benjamin Franklin scria deja că „materia electrică este compusă din particule extrem de subtile, deoarece ele pot traversa materia obişnuită şi chiar metalele cele mai dense". Părerea acestor precursori avea să fie confirmată în ultimul deceniu al secolului al XIX-lea, în special prin studiul radiaţiilor catodice.

IDENTIFICAREA ELECTRONULUI CA PARTICULĂ ELEMENTARĂ. Două şcoli au propus interpretări diferite ale naturii acestor radiaţii, a căror descoperire a avut loc pe la mijlocul secolului al XIX-lea. În timp ce Hertz şi colaboratorul său Lenard au tras concluzia că „dintre fenomenele cunoscute, lumina este cea mai bine înţeleasă", J.J. Thomson atribuia radiaţiilor catodice o natură corpusculară. În favoarea teoriei sale Lenard aducea argumentul că radiaţiile catodice trec printr-un perete subţire de aluminiu; dar acest argument i s-ar fi părut mai puţin decisiv dacă ar fi cunoscut remarca lui Franklin asupra extremei micimi a particulelor capabile de a compune materia electrică.

În decembrie 1895, J. Perrin a publicat rezultatele unei experienţe care consacrau triumful teoriei corpusculare, cel puţin pentru vreo 30 de ani. El a constatat că un cilindru Faraday, plasat în interiorul unui tub de descărcare, se încarcă negativ sub acţiunea radiaţiilor catodice. Experienţa sa arăta că aceste radiaţii sînt formate din particule încărcate negative. Deşi ea era insuficientă pentru a lămuri natura acestor particule, constituia totuşi prima dovadă directă a existenţei electronului.

Totuşi, prima determinare a masei sale a fost obţinută printr-o metodă diferită. De mai mulţi ani, H.A. Lorentz edificase o teorie a dielectricilor pe baza existenţei unei particule materiale de sarcină şi de masă bine definite, deşi nu le putuse încă determina. Acesteia el îi atribuia dispersia şi producerea luminii de către materie. Descoperirea de către P. Zeeman, în 1896, a descompunerii liniilor spectrale de către un cîmp magnetic, i-a permis să calculeze masa acestei particule: încă de la sfîrşitul anului 1896, el a prezentat teoria „efectului Zeeman" şi a dedus din valorile experimentale obţinute pentru separarea liniilor, că această masă este de aproximativ 2000 ori mai mică decît cea a atomului de hidrogen. Identitatea dintre această particulă şi cea care tocmai fusese descoperită în radiaţiile catodice, nu a devenit evidentă decît după ce a fost cunoscută şi masa acesteia din urmă.

În 1897, J. J. Thomson a publicat primele rezultate ale măsurărilor pe care le-a efectuat pentru a obţine această masă. Admiţînd că radiaţiile catodice sînt formate din corpusculi, el a pus încă din 1881 bazele dinamicii lor, care a fost apoi precizată de Fitzgerald şi Heaviside. Acţionînd separat cu un cîmp electric şi cu un cîmp magnetic transversale pentru a devia radiaţiile catodice de la traiectoria lor rectilinie, el a obţinut două relaţii ce conţineau viteza v a particulelor şi raportul e/m dintre sarcina şi masa lor. Au fost încercate mai multe combinaţii de deviaţii electrice şi magnetice, iar în anumite experienţe deviaţia magnetică a fost chiar înlocuită prin măsurarea energiei cinetice a electronilor, care erau obligaţi în acest scop să cadă pe un termocuplu. Thomson a găsit o viteză de ordinul unei zecimi din viteza luminii şi un raport e/m independent de gazul în care avea loc descărcarea şi de natura catodului: acest ultim rezultat a fost confirmat şi de H. A. Wilson în 1901.

Valoarea găsită în 1897 pentru e/m era de 770 ori mai mare decît valoarea corespunzătoare pentru ionii de hidrogen din electroliză. Admiţînd ipoteza că sarcina e era cea a ionilor monovalenţi din electroliză, adică unitatea naturală numită „electron“ de către Stoney, Thomson a fost obligat să atribuie electronului o masă mult mai mică decît cea a ionilor. După ce valoarea lui e/m pentru particulele din radiaţiile catodice a fost determinată mai precis prin măsurările lui Kaufmann (1897-98), Wien, Simon, Wiechert (1899) şi Thomson însuşi, s-a stabilit că masa electronului este de 1836 ori mai mică decît cea a ionului de hidrogen.

Între 1897 şi 1900, măsurările lui e/m au permis identificarea electronului în numeroase fenomene. Convertit la teoria corpusculară, Lenard a măsurat în 1898 acest raport pentru radiaţiile catodice care au traversat un perete metalic subţire (radiaţiile lui Lenard). Thomson a efectuat aceeaşi măsurare pentru electronii emişi de metalele incandescente (efectul termoionic), iar Thomson şi Lenard pentru electronii emişi de metale sub acţiunea luminii ultraviolete, adică prin efect fotoelectric. În sfîrşit, tot prin măsurarea raportului e/m, H. Becquerel a arătat că radiaţiile β, emise de radiu, numite atunci radiaţii Becquerel, sînt formate din electroni înzestraţi cu viteze foarte mari.

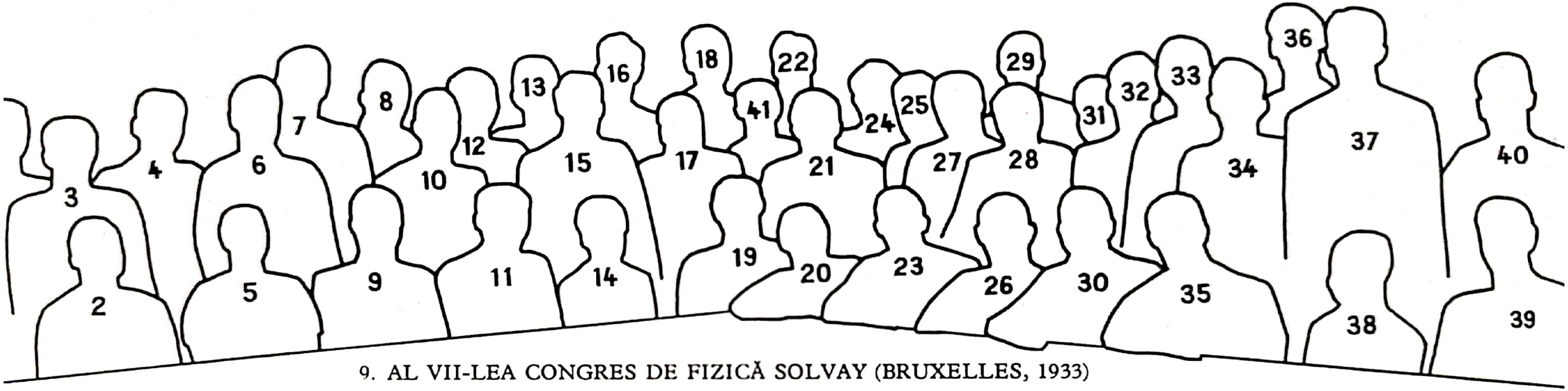
MĂSURAREA SARCINII ELECTRONULUI. Pentru a verifica ipoteza sa, J. J. Thomson a măsurat direct, în 1898-99, sarcina electronilor produşi în gaze de radiaţiile X şi de efectul fotoelectric, bazîndu-se pe o proprietate care este folosită astăzi în fizica nucleară pentru a detecta particulele în „camera Wilson“. În laboratorul Cavendish de la Cambridge (Marea Britanie), unde lucra Thomson, C. T. R. Wilson şi J. S. Townsend tocmai descoperiseră că particulele electrizate constituie centre de condensare pentru vaporii de apă supuşi unei detente bruşte, în cazul în care raportul dintre volumul final şi cel iniţial este cuprins între anumite limite. Studiul mişcării picăturilor de apă astfel formate permite determinarea sarcinii purtate de particulele electrizate.

Amintim că sarcina electronului intervine şi în teoria radiaţiei a lui Planck. Cu toată imprecizia măsurărilor radiaţiilor în acea epocă, Planck a putut să deducă în 1900 o valoare extraordinar de exactă a sarcinii electronului.

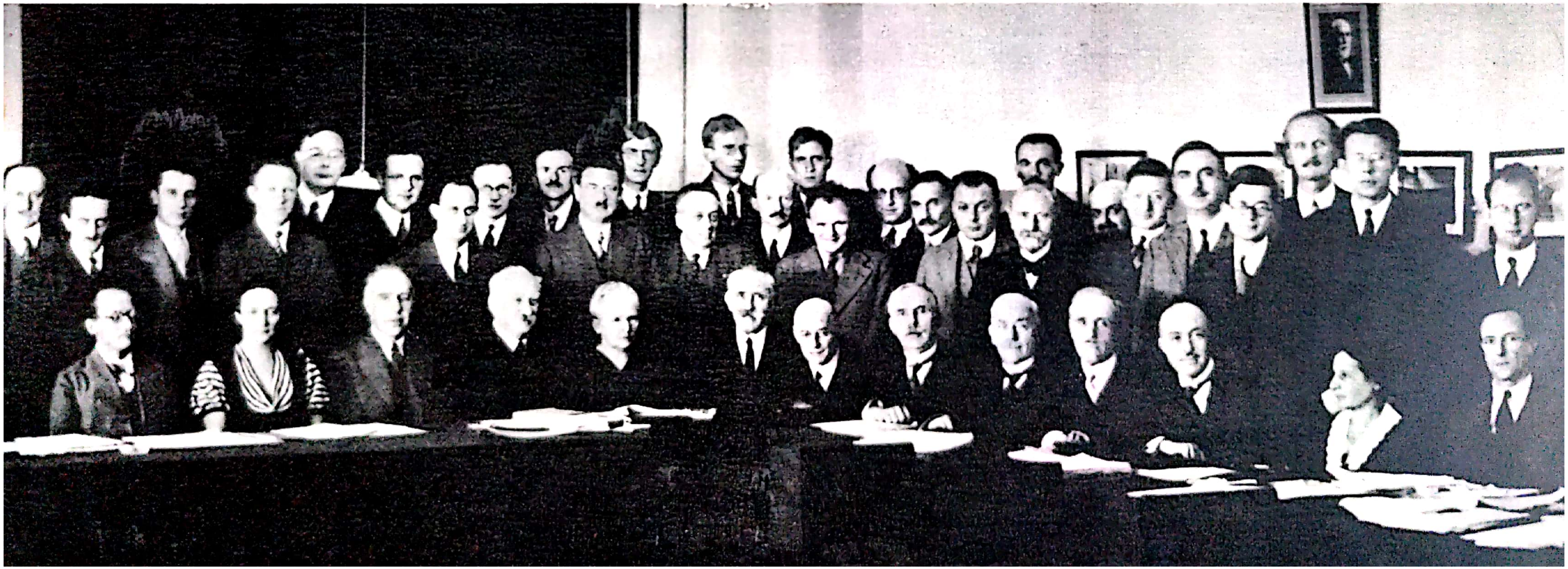
Totuşi, cea mai bună metodă constă în observarea mişcării unei picături de ulei care poartă un mic număr de sarcini elementare şi care este supusă gravitaţiei, unui cîmp electric vertical şi forţelor de viscozitate a aerului în care se deplasează. Această metodă, indicată în 1907 de Ehrenhaft, a fost folosită în 1913 de R. A. Millikan şi reluată, sub o formă perfecţionată, în 1940.

Experienţa se efectuează între două plăci metalice orizontale, care reprezintă armăturile unui condensator. Se observă la microscop mişcarea unei picături de ulei puternic luminată, al cărei diametru este aproximativ de un micron. În absenţa unui cîmp electric, forţa de viscozitate a gazului, care este proporţională cu viteza picăturii, se opune accelerării gravitaţiei impunînd o viteză limită. Coeficientul de proporţionalitate între forţa de viscozi-

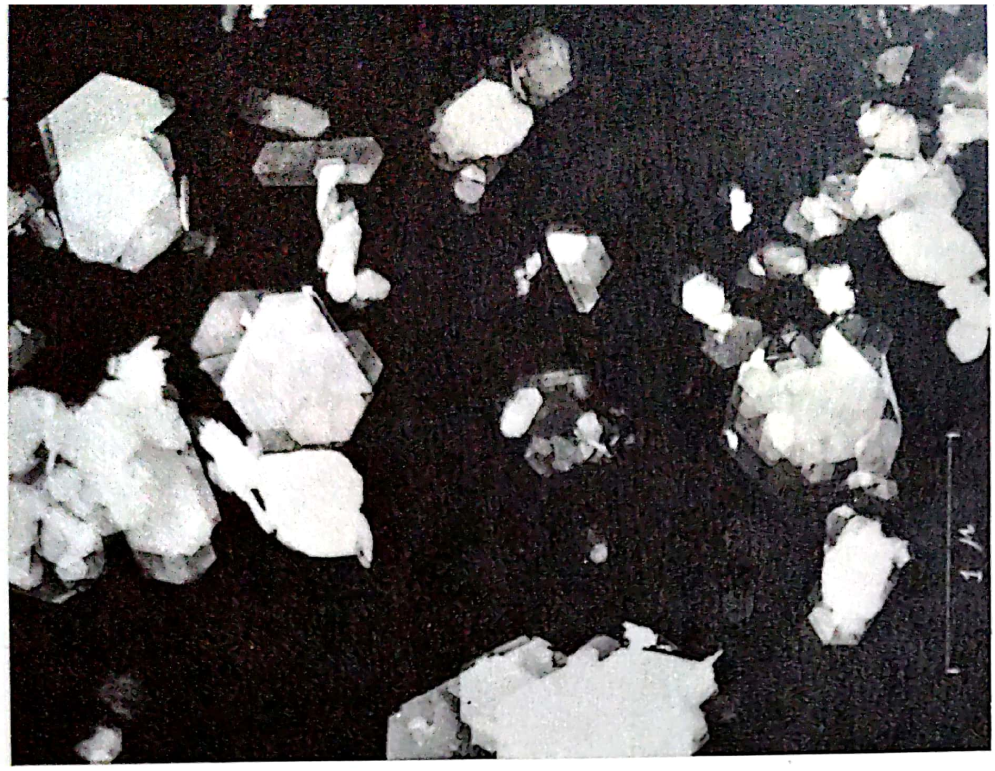
1. E. HENRIOT
2. E. SCHRÖDINGER
3. F. PERRIN
4. F. JOLIOT
5. IRÈNE JOLIOT-CURIE
6. W. HEISENBERG
7. H.A. KRAMERS
8. H. STAHEL
9. N. BOHR
10. E. FERMI
11. A. IOFFE
12. E.T.S. WALTON
13. P.A.M. DIRAC
14. MARIE CURIE
15. P. DEBYE
16. N.F. MOTT
17. B. CABRERA
18. G. GAMOW
19. P. LANGEVIN
20. O.W. RICHARDSON
21. M.S. ROSENBLUM
22. P. BLACKETT
23. LORDUL RUTHERFORD
24. J. ERRERA
25. E. BAUER
26. TH. DE DONDER
27. W. PAULI
28. J.E. VERSCHAFFELT
29. M. COSYNS
30. M. DE BROGLIE
31. E. HERZEN
32. D. D. COCKROFT
33. C. D. ELLIS
34. R. PEIERLS
35. L. DE BROGLIE
36. A. PICCARD
37. E. O. LAWRENCE
38. LISE MEITNER
39. J. CHADWICK
40. L. ROSENFELD
41. W. BOTHE


3
4
6
7
8
12
13
16
18
22
41
15
10
17
21
24
25
29
27
28
31
32
33
36
37
34
40
2
5
9
11
14
19
20
23
26
30
35
38
39

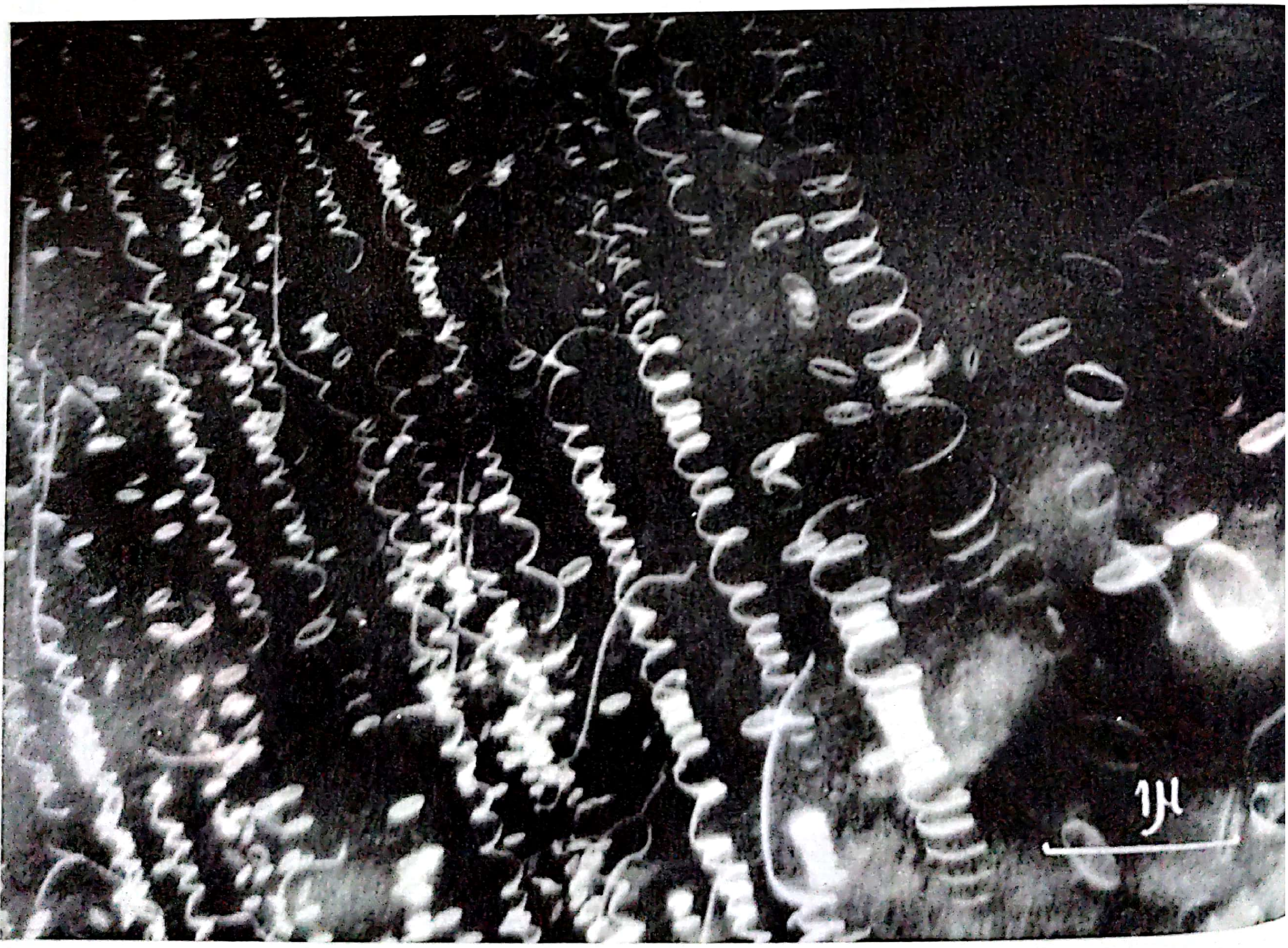
9. AL VII-LEA CONGRES DE FIZICĂ SOLVAY (BRUXELLES, 1933)



1

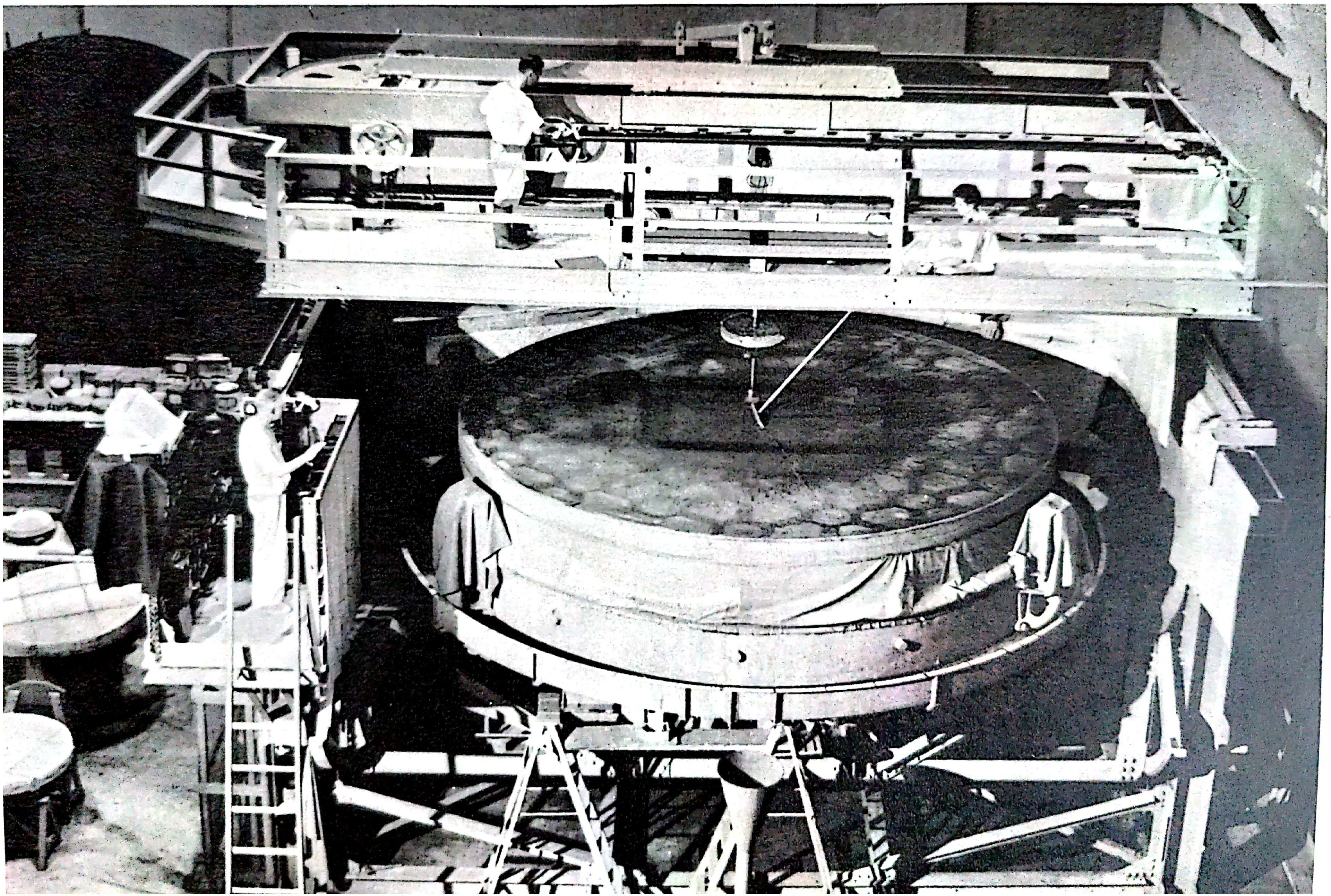


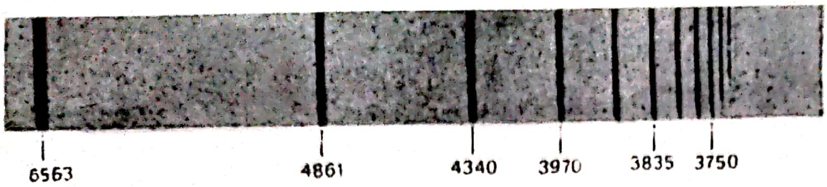
2



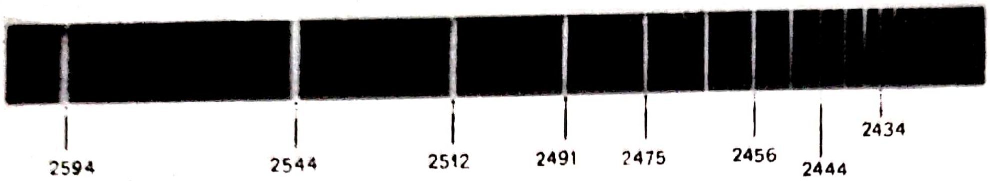
10. MICROCRISTALE DE CAOLINIT. DISLOCAŢII ELICOIDALE ÎNTR-UN ALIAJ

11. POLIZAREA OGLINZII CU DIAMETRUL DE 5 *m* A TELESCOPULUI DE LA MOUNT-PALOMAR

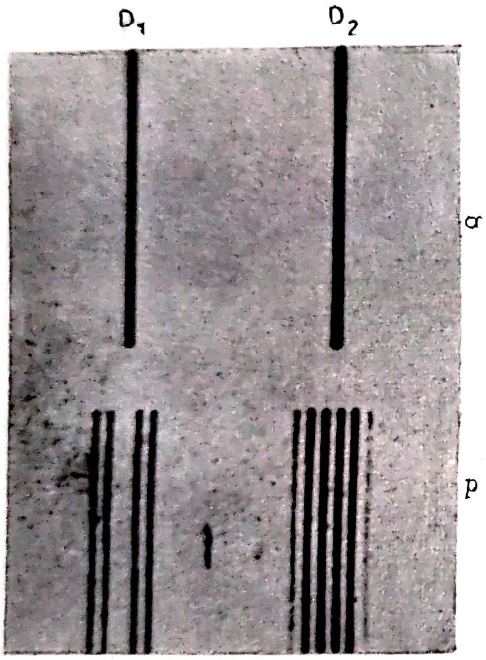



6563
4861
4340
3970
3835
3750

1. SERIA BALMER, EMISIA HIDROGENULUI

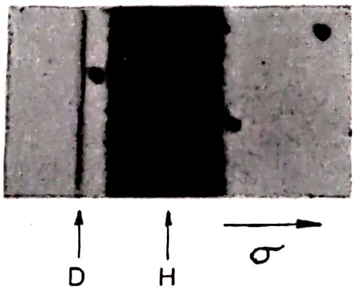

2594
2544
2512
2491
2475
2456
2444
2434

2. SPECTRUL DE ABSORBŢIE AL VAPORILOR DE SODIU



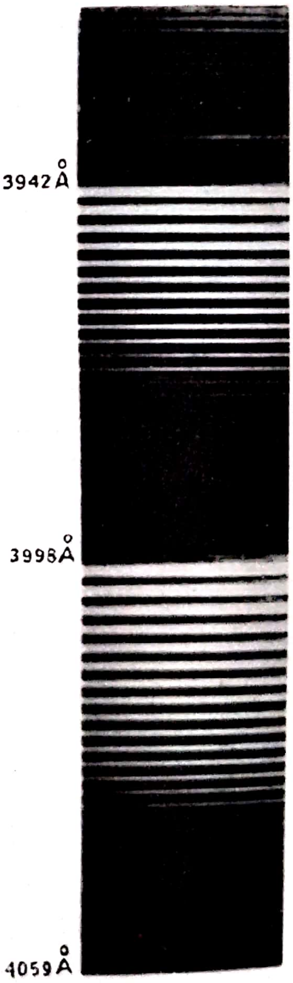
4. EFECTUL ZEEMAN

3. STRUCTURA HIPERFINĂ

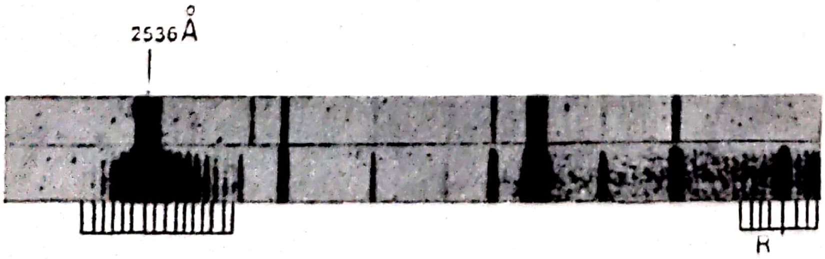


5. DESCOPERIREA DEUTERIULUI

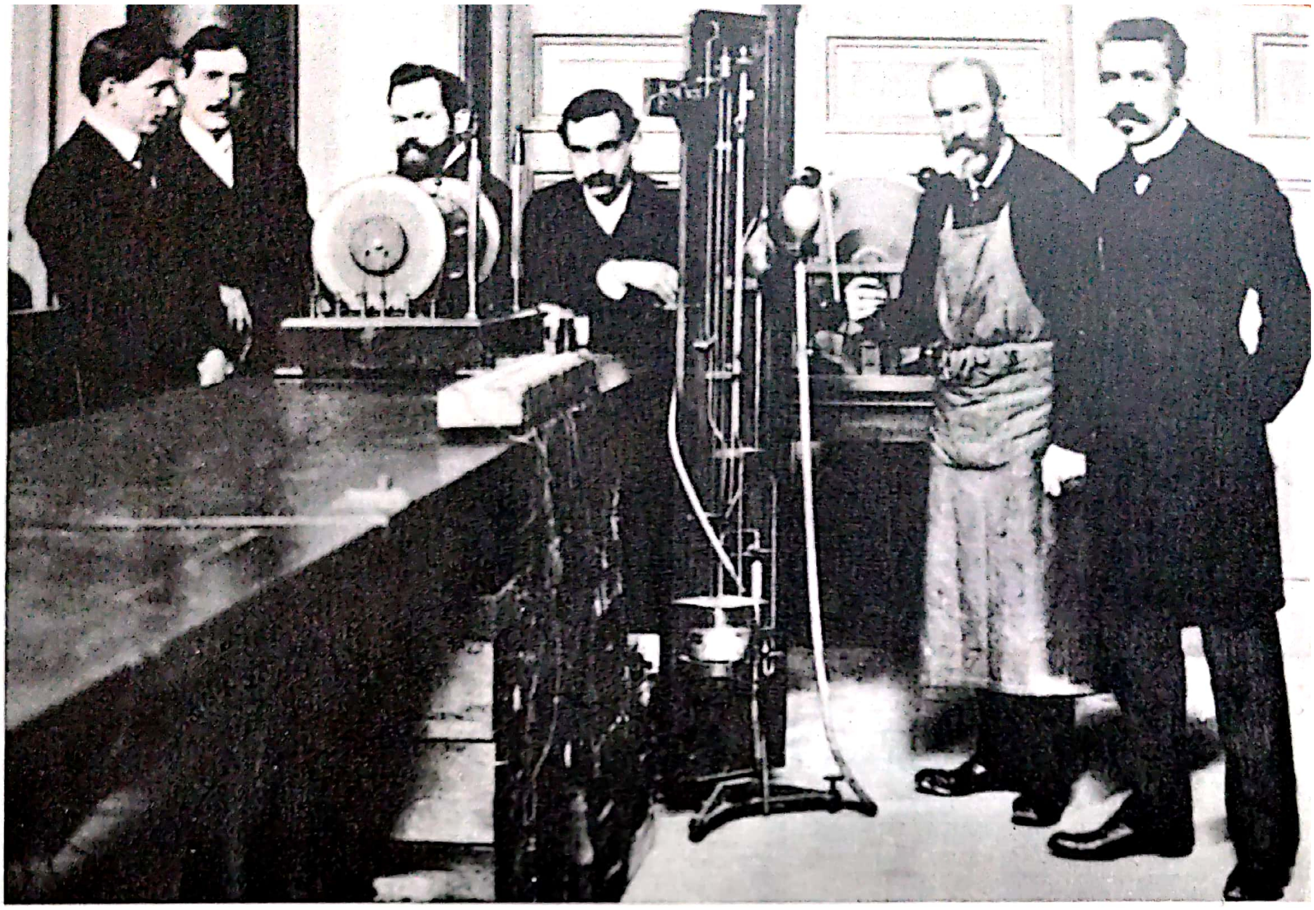
6. SPECTRUL AZOTULUI


3942 Å
3998 Å
4059 Å

7. SPECTRUL RAMAN AL HCl.

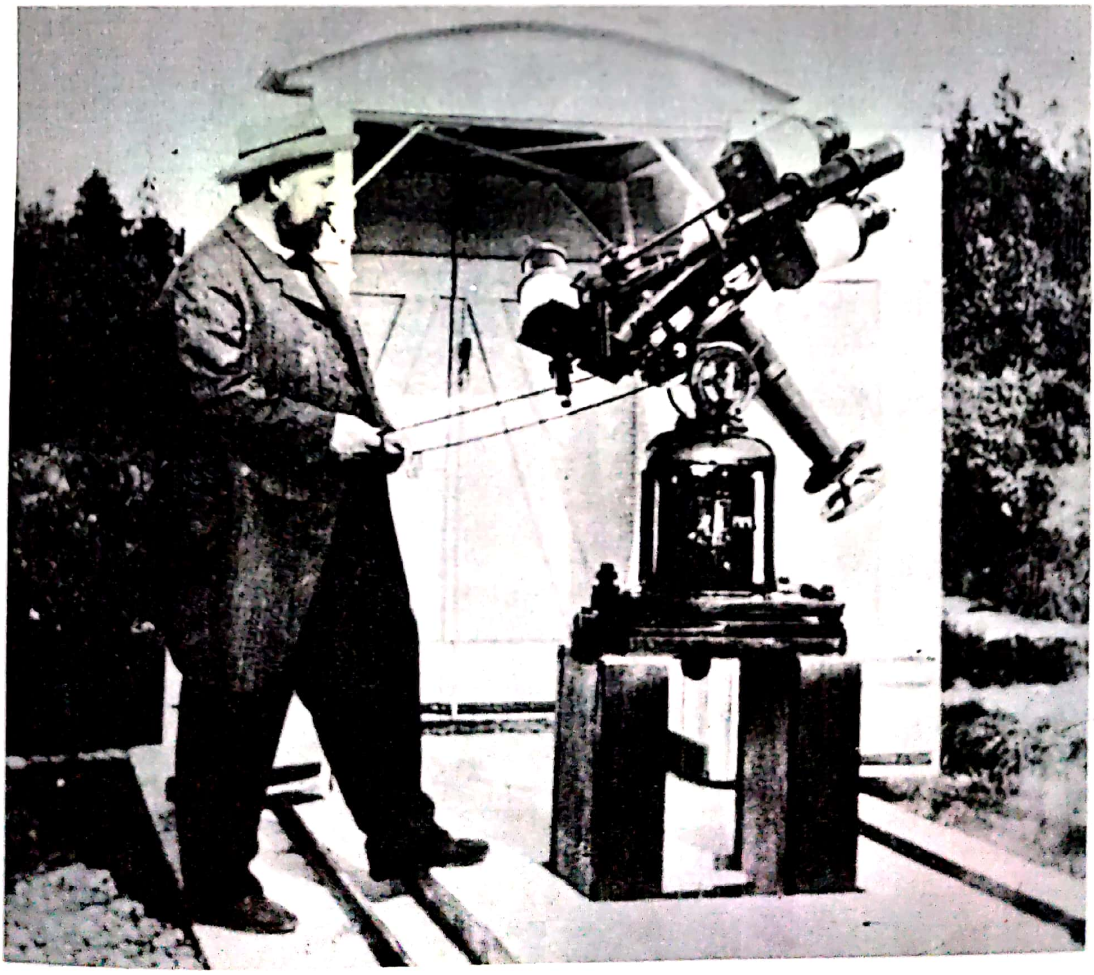


12. EXEMPLE DE SPECTRE ATOMICE ŞI MOLECULARE

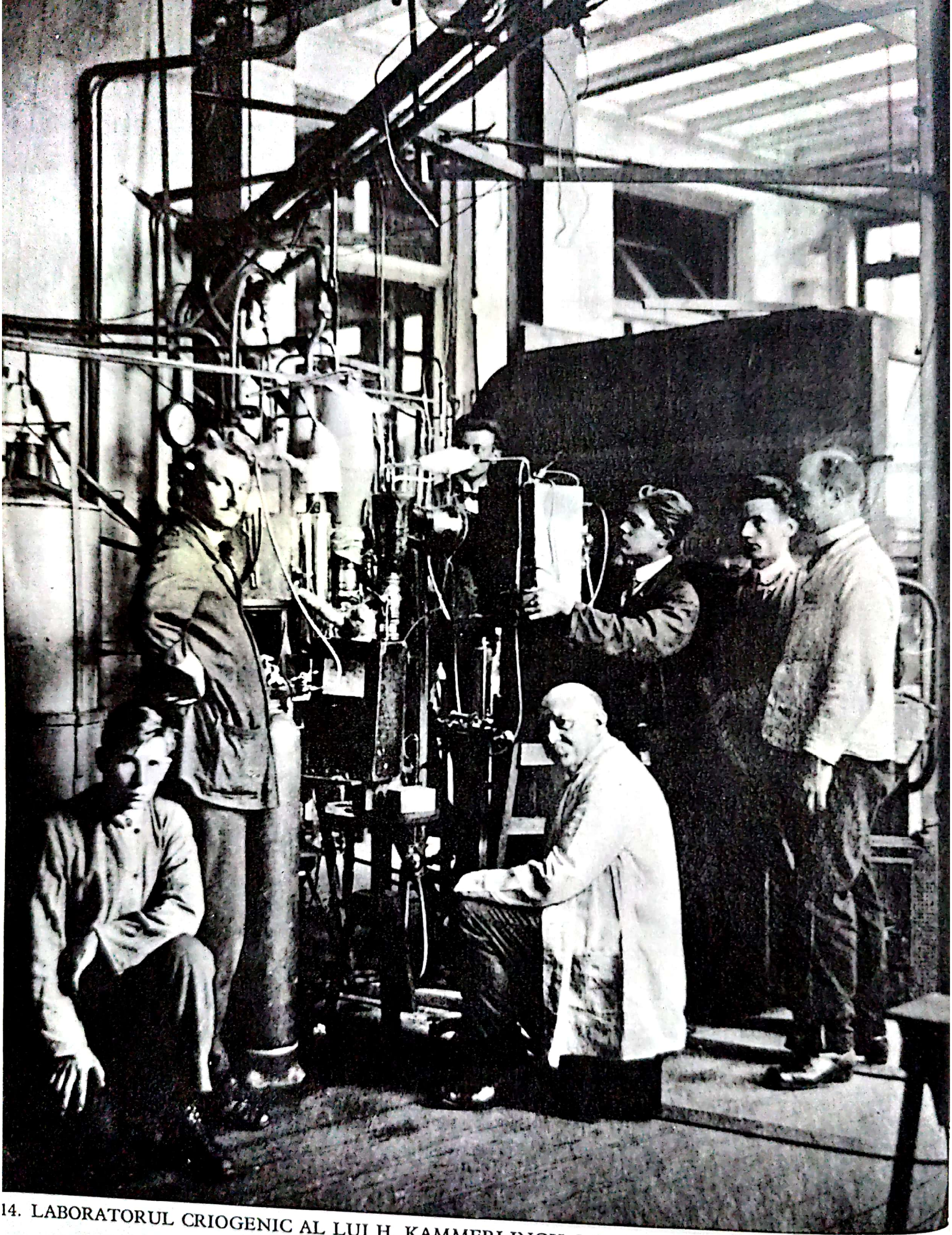


1

13. 1. PAUL LANGEVIN ÎN LABORATORUL SĂU
(în dreapta sa un laborant; E. Bauer; M. Moulin; M. De Broglie; L. Dunoyer)
2. PIOTR LEBEDEV

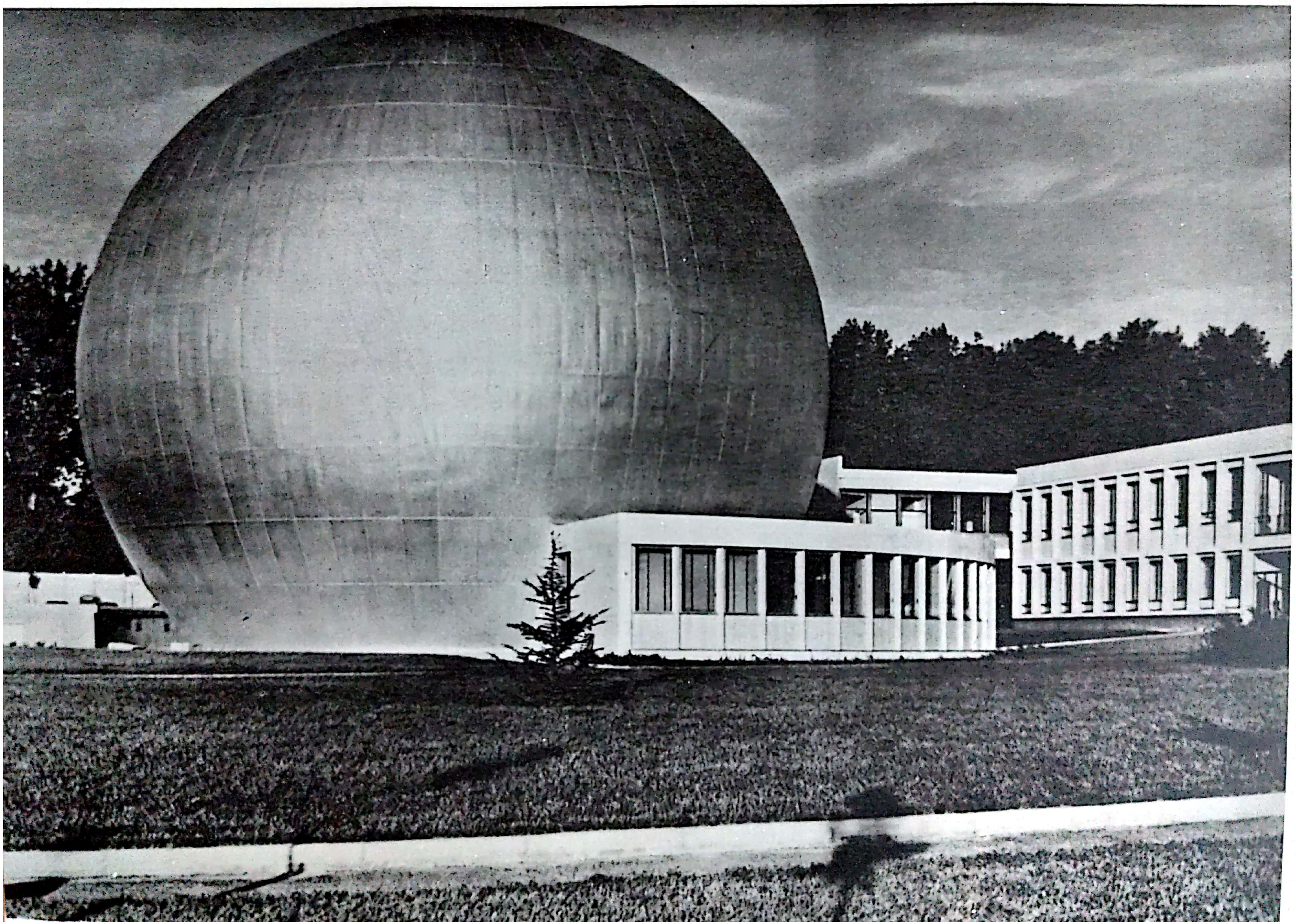


2

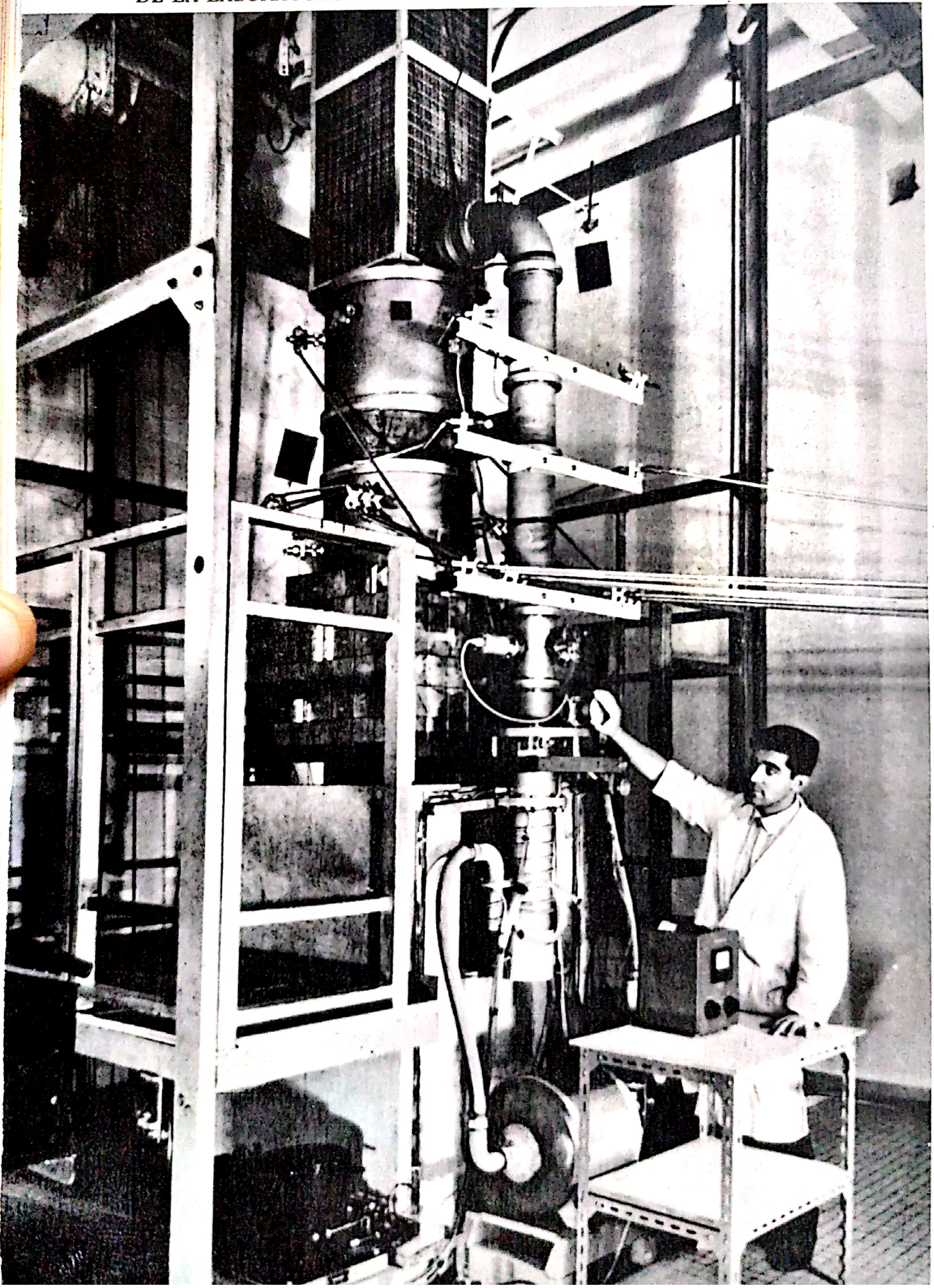


14. LABORATORUL CRIOGENIC AL LUI H. KAMMERLINGH ONNES DE LA LEYDA

15. LABORATORUL DE OPTICĂ ELECTRONICĂ AL C.N.R.S. DIN TOULOUSE



16. MICROSCOPUL ELECTRONIC CU ÎNALTĂ TENSIUNE DE LA LABORATORUL DIN TOULOUSE



tate şi viteză este dat de formula simplă a lui Stokes, $f = 6\pi\eta a$, unde a este raza picăturii, iar η este coeficientul de viscozitate al gazului.

Cînd η este cunoscut, această primă parte a experienţei permite determinarea razei picăturii şi deci a masei sale, deoarece densitatea uleiului se cunoaşte. Se aplică apoi un cîmp electric şi se constată că viteza limită a picăturii variază totdeauna prin salturi: aceste variaţii sînt multipli întregi simpli ai unei valori bine determinate, proporţională cu cîmpul electric. Acest fapt se explică simplu dacă se admite că picătura sa electrizează prin frecare, în aer, acumulînd un mic număr de sarcini elementare; se poate deduce astfel sarcina electronului. Este vorba de o experienţă foarte delicată şi, după un prim rezultat îndoielnic, Millikan a trebuit să refacă măsurarea coeficientului de viscozitate a aerului.

Valoarea sarcinii electronului, astfel obţinută este considerată cea mai bună: $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ coulomb. Compararea sa cu sarcina unui ion-gram din electroliză, reprezintă cea mai bună determinare a numărului lui Avogadro: $N = 6{,}02 \cdot 10^{23}$. În sfîrşit, din valorile obţinute pentru e/m, ($e/m = 1{,}759 \cdot 10^{11}$ coulomb/kg) ea furnizează pentru masa electronului valoarea: $m = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg. Datorită faptului că aceste rezultate concordă cu alte determinări, experienţa lui Millikan joacă un rol crucial în istoria fizicii moderne.

INTERPRETĂRILE MASEI ELLCTRONULUI. Pentru anumiţi teoreticieni din 1900, cele două mărimi fundamentale care caracterizează electronul, masa şi sarcina sa, nu păreau independente, iar lucrările pe care le-au efectuat pentru a le determina legătura, au reprezentat o încercare de explicare a structurii electronului, care, deşi depăşită, are un anumit interes istoric.

Încă de la începutul carierei sale în 1881, J. J. Thomson a remarcat că o sarcină electrică are inerţie datorită cîmpului electromagnetic pe care ea însăşi îl produce şi a reuşit să calculeze „masa electromagnetică" a unei sfere încărcate: el a găsit că această masă variază cu viteza, în timp ce teoria clasică considera masa mecanică drept constantă. În 1895, Larmor a considerat posibilitatea ca „masa oricărui corp material să nu fie altceva decît masa electromagnetică a electronilor care formează sigur o parte şi, posibil, totalitatea structurii sale (O.W. Richardson, *The Electron Theory of Matter*, 1914).

În studiul său *Prinzipien der Dynamic des Elektrons*, publicată în 1903, Max Abraham a precizat calculele lui J. J. Thomson, considerînd electronul drept o sferă nedeformabilă. El a introdus noţiunea de „moment electromagnetic" legat direct de vectorul pe care J. H. Poynting îl introdusese în 1884 pentru a reprezenta propagarea energiei electromagnetice. Această noţiune permite explicarea faptului că o radiaţie ce cade pe o suprafaţă exercită asupra ei o presiune: această „presiune a radiaţiei", prezisă de Maxwell în 1873, a fost măsurată de P. Lebedev în 1901 şi apoi de E. Nichols şi G. Hull în 1903, cu o precizie de 1%. Din expresia momentului electromagnetic, Abraham a putut să deducă uşor valoarea masei electromagnetice a electronului şi să arate că ea creşte cu viteza, devenind infinită cînd viteza electronului se apropie de cea a luminii.

Aceste lucrări sînt contemporane celor care au condus la teoria relativităţii. Lorentz propusese de curînd ipoteza, formulată şi de Fitzgerald, a contracţiei dimensiunilor unui corp solid în mişcare. El a aplicat-o la dinamica electronului şi a dedus o formulă a variaţiei masei m a electronului în funcţie de viteza v, diferită de cea a lui Abraham: aceasta este formula binecunoscută din relativitatea restrînsă $m = m_0/\sqrt{(1-v^2/c^2)}$, unde c este viteza luminii în vid.

Din 1901, W. Kaufmann a încercat să măsoare raportul e/m pentru electroni i cu viteze mari, emişi de bromura de radiu, şi a observat o variaţie a masei cu viteza, suficient de mare pentru a deduce că cea mai mare parte a masei electronului este de origine electromagnetică. În 1906, el a publicat rezultatul lucrărilor efectuate cu cea mai mare grijă pentru a arbitra între formula lui Abraham şi cea a lui Lorentz: în limita erorilor experimentale, aceste rezultate au confirmat teoria lui Abraham. Titlul articolului lui Kaufmann, datat din 1906, *Über die Konstitution des Elektrons*, traduce bine scopul urmărit de autorul său. În urma experienţelor lui Kaufmann, Lorentz scria în ediţia din 1909 a lucrării sale *Théorie des électrons* că va fi probabil necesar să se renunţe la ipoteza contracţiei. Totuşi, în ediţia următoare (din 1915) Lorentz subliniază că noile experienţe efectuate de A. Bucherer (1908), E. Hupka (1910), C. Schaefer şi G. Neumann (1913) şi, în sfîrşit, de C. E. Guye şi C. Lavanchy, confirmă propria sa formulă, şi că deci „după toate probabilităţile, ar dispărea singura obiecţie contra ipotezei electronului deformabil şi a principiului relativităţii".

Teoria relativistă a lui Lorentz atribuia electronului aceeaşi masă de repaus ca şi cea a lui Abraham: $m_0 = e^2/(4\pi Rc^2)$ (unităţi C.G.S.E.S.; e — sarcina electronului; R — raza electronului). Valoarea experimentală a lui m_0 permite calculul razei R, a cărei valoare este de aproximativ $1{,}5 \cdot 10^{-13}$ cm, adică de 100 000 ori mai mică decît raza moleculei de hidrogen (care are aproximativ 10^{-8} cm).

Remarcăm caracterul mecanicist al acestor reprezentări ale electronului. Consideraţii legate de stabilitatea electronului deformabil sub acţiunea forţelor electromagnetice au permis chiar precizarea imaginii despre el; astfel, H. Poincaré a arătat în 1906 că electronul ar fi în echilibru dacă ar fi format dintr-o membrană foarte subţire, perfect flexibilă şi extensibilă, supusă unei presiuni spre interior.

Teoriile moderne au renunţat la stabilirea unor imagini atît de concrete ale electronului. Dar trebuie subliniat că în teoriile elaborate pe la 1900, pentru a explica proprietăţile electrice ale materiei, electronul apare în general ca un punct material caracterizat prin sarcina şi masa sa. Pe aceste baze, teoria electronilor a putut explica un număr mare de fenomene şi s-a dovedit a fi un instrument de lucru eficace.

ELECTRONICA ŞI TEORIA RELATIVITĂŢII. Problemele ridicate de fizica electronului şi a cîmpului electromagnetic au jucat un rol esenţial în apariţia teoriei relativităţii. Vom rezuma pe scurt aportul acestei teorii la electronică. Teoria lui Lorentz, înlocuită din 1905 prin relativitatea restrînsă a lui Einstein, permitea explicarea variaţiei masei electronului cu viteza. Pentru a descrie mişcarea electronului în numeroase dispozitive — klistroane de putere mare, microscoape electronice şi, mai ales, acceleratoare în care viteza electronului este apropiată de cea a luminii — trebuia să se recurgă la dinamica relativistă.

Aportul relativităţii restrînse se manifestă şi în expunerea modernă a electromagnetismului, arătînd legătura dintre cîmpurile electrice şi magnetice, ca şi originea forţei Laplace şi a legii inducţiei.

Faptul că ecuaţiile Maxwell nu sînt invariante în raport cu o transformare clasică de coordonate, a condus pe Lorentz la introducerea unor noi formule de transformări de coordonate, care au fost justificate de teoria relativităţii. Pe baza acestor formule de transformare, dacă un cîmp pur electrostatic domneşte într-un sistem în mişcare faţă de un observator fix, acesta detectează şi existenţa unui cîmp magnetic printr-un fel de efect de perspectivă. Se deduce uşor expresia $\vec{F} = e(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ a forţei $\vec{F}$ care se exercită asupra unui electron de viteză $\vec{v}$, supus unui cîmp electric $\vec{E}$ şi unei inducţii magnetice $\vec{B}$. Şi reciproc, un electron în mişcare produce un cîmp electric şi un cîmp magnetic creat de curenţi în conductorii metalici. Aceşti curenţi rezultă din deplasarea electronilor printr-un mediu de ioni practic imobili; cîmpul electrostatic al acestora neutralizează pe cel al electronilor şi nu mai rămîne decît cîmpul magnetic ce provine din mişcarea electronilor: deşi viteza lor poate fi mică, numărul lor mare explică de ce cîmpul magnetic astfel creat poate fi măsurabil.

În acest fel, relativitatea restrînsă nu se aplică numai la viteze mari: ea pune într-o lumină vie ansamblul fenomenelor electromagnetice, a căror profundă unitate o dovedeşte.

B. TEORIA ELECTRONICĂ A MATERIEI LA ÎNCEPUTUL SECOLULUI AL XX-LEA

La începutul secolului al XX-lea descoperirea electronului a furnizat o bază solidă încercărilor de a elabora o teorie unificată a proprietăţilor electrice ale materiei, de la deplasarea curentului continuu pînă la undele electromagnetice cu frecvenţele cele mai înalte.

DEPLASAREA ELECTRICITĂŢII ÎN GAZE. Numeroase rezultate experimentale asupra deplasării electricităţii în gaze fuseseră acumulate în cursul secolului al XIX-lea şi în special în ultimul său deceniu. Ele se refereau atît la gazele la presiune atmosferică, cît şi la presiuni scăzute. În lucrarea sa *Conduction of Electricity Through Gases*, J. J. Thomson a arătat în 1903 că faptele observate se explică dacă se admite că „conducţia electricităţii în gaze se datoreşte prezenţei unor mici particule de electricitate numite «ioni»“. Trebuie subliniat că Thomson denumeşte astfel atît particulele pozitive, cît şi pe cele negative şi că el nu foloseşte cuvîntul „electroni“. Numai în urma măsurărilor raportului e/m, descrise amănunţit în paragraful precedent, s-a stabilit faptul că particulele negative au o masă mult mai mică decît cea a ionilor pozitivi şi cea a atomilor.

Cartea lui Thomson a permis rezumarea cunoştinţelor asupra gazelor ionizate pînă în 1900. Un loc important este consacrat descărcării între doi electrozi reci, în care „ionizarea se datoreşte în special acţiunii cîmpului electric“: descărcarea începe, conform unei legi descoperite de Paschen în 1889, la o diferenţă de potenţial care nu depinde, pentru un gaz dat, decît de produsul dintre presiunea gazului şi distanţa dintre electrozi. Thomson descrie arcul electric, pentru care A. Blondel a studiat în Franţa diferitele regimuri şi care este caracterizat printr-un curent foarte puternic şi „printr-o producere intensă de lumină şi de căldură care îi conferă o mare importanţă practică". El prezintă diferitele aspecte ale descărcării la presiuni joase, aşa cum le observase Faraday în 1838, şi studiază distribuţia cîmpului electric de-a lungul descărcării, cercetată experimental de diferiţi autori de la Hittorf în 1883, pînă la H. A. Wilson în 1900. El subliniază că J. Zeleny şi C. Child au arătat, independent, în 1898, că cîmpul electric dintre două plăci introduse într-un gaz ionizat nu este uniform, ceea ce stă la originea legii lui Child-Langmuir asupra curentului din diodele termoionice.

Thomson descrie studiile experimentale asupra acţiunii diferiţilor factori ionizanţi, ca emisia electronilor de către metale încălzite (efectul termoionic), ionizarea în flacără şi, mai ales, efectul a trei agenţi foarte folosiţi de către experimentatori — radiaţiile X ale lui Röntgen, lumina ultravioletă şi radiaţiile α şi β ale lui Becquerel.

Ionii astfel formaţi au tendinţa de a se recombina proporţional cu numărul de ioni pozitivi şi de ioni negativi (electroni) pe unitatea de volum. Coeficientul de proporţionalitate, numit coeficient de recombinare în volum, care a fost măsurat de Rutherford în 1897, intervine în randamentul de ionizare la echilibru (procentul de atomi ionizaţi) în prezenţa unui agent ionizant, precum şi în legea de scădere a ionizării cînd se suprimă acest agent.

Independent de recombinarea în volum, ionii dispar şi prin neutralizarea pe pereţii vasului care conţine gazul. Concentraţia ionilor este deci mai mică în vecinătatea pereţilor. Ionii difuzează din regiunea cu concentraţie mai mare spre regiunea în care aceasta este mai mică, iar numărul de ioni care străbat unitatea de suprafaţă în unitatea de timp este proporţional cu gradientul concentraţiei. Coeficientul de proporţionalitate D, numit coeficient de difuzie, a fost măsurat pentru mai multe gaze de J. S. Townsend, în laboratorul Cavendish.

Sub acţiunea ciocnirilor cu ceilalţi ioni şi atomi, ionii şi electronii supuşi unui cîmp electric E capătă o viteză μE proporţională cu cîmpul. Mobilităţile μ în diferite gaze au fost măsurate sistematic de către Rutherford în 1897. Thomson a arătat că mobilitatea şi coeficientul de difuzie nu sînt independente şi a stabilit între ele o relaţie echivalentă cu relaţia lui Einstein $D/\mu = kT/e$, valabilă pentru fenomene de difuzie într-un mediu aflat în echilibru termodinamic la temperatura T. De remarcat generalitatea noţiunii de mobilitate, care poate fi ataşată noţiunilor de viteză medie şi de parcurs liber mijlociu între două ciocniri, noţiuni clasice în teoria cinetică a gazelor: coeficientul de mobilitate fusese introdus şi în teoria electroliţilor (vol. III, p. 258); el intervine şi în teoria lui Drude asupra conductibilităţii metalelor şi joacă un rol esenţial în teoria modernă a semiconductoarelor.

În 1902, Langevin, care efectuase cu J. Perrin cercetări asupra ionizării prin radiaţii X şi care apoi a efectuat un stadiu la laboratorul Cavendish, şi-a publicat remarcabila sa teză de doctorat, *Recherches sur les gaz ionisés*. În această lucrare, el studia recombinarea şi mobilitatea ionilor. Conform teoriei sale, ionii pozitivi şi ionii negativi (electronii) se atrag şi suferă ciocniri; o anumită fracţiune din ei produce recombinări. El stabileşte astfel o legătură între mobilităţi şi coeficientul de recombinare. Această teorie este bazată pe lucrări experimentale de mare rigurozitate ştiinţifică.

Lucrarea lui Thomson acordă un spaţiu mare descrierii experienţelor extrem de ingenioase efectuate în acea epocă asupra gazelor ionizate. Studiul descărcării în gaze a condus la definirea unor numeroşi coeficienţi ce trebuia măsuraţi. Abia după aproape o jumătate de secol, după o înflorire lentă a acestor idei şi sub presiunea aplicaţiilor, a apărut o adevărată teorie microscopică a gazelor ionizate. Pionierii din 1900 au lămurit totuşi un capitol complex al noilor fenomene.

DIELECTRICII. Înainte chiar ca electronul să fi apărut cu certitudine ca agentul ce transportă electricitatea în gaze şi constituent al radiaţiilor catodice, H. A. Lorentz i-a acordat un rol fundamental în teoria sa asupra materiei şi în special asupra dielectricilor.

Acţiunea cîmpului electric asupra dielectricilor, studiată de Faraday în 1837-38, se traduce prin fenomene de polarizare: această noţiune, introdusă de Faraday şi precizată de W. Thomson în 1845 şi de Mossotti în 1847, este direct legată de cea de constantă dielectrică. În lucrarea sa *Théorie des électrons*, Lorentz considera că dielectricii conţin sarcini electrice supuse unor forţe de atracţie: această ipoteză permite explicarea polarizării prin formarea unor dubleţi sub acţiunea unui cîmp electrostatic. Sarcina supusă unei astfel de forţe de atracţie, reprezintă un oscilator armonic care are o frecvenţă proprie şi care poate fi excitat de un cîmp electromagnetic de frecvenţă apropiată.

Ţinînd seama de această interacţie, se poate calcula constanta dielectrică pînă la frecvenţele cele mai înalte, ca şi indicele de refracţie şi viteza de propagare a undelor electromagnetice prin intermediul ecuaţiilor Maxwell. Pentru a explica absorbţia undelor în vecinătatea unei frecvenţe de rezonanţă, trebuie introdus în ecuaţia rezonatorului un termen disipativ. Astfel, se poate explica în acelaşi timp şi dispersia anomală, adică faptul că indicele de refracţie creşte foarte rapid cu frecvenţa în apropierea frecvenţei de absorbţie, scade brusc în banda de absorbţie şi începe să crească iar dincolo de această bandă. Aceasta constituia un succes pentru teoria lui Lorentz, cu atît mai mult cu cît se ştie acum din ce cauză o frecvenţă de absorbţie a unui atom este şi o frecvenţă de emisie: oscilatorul intraatomic este un emiţător de radiaţie şi se poate justifica parţial introducerea termenului disipativ prin pierderea de energie rezultantă.

Teoria oscilatorului sinusoidal se adapta bine la modelul atomului propus de J. J. Thomson în acea epocă: acela al unei sfere încărcate uniform cu electricitate pozitivă, în care electronul negativ poate pătrunde şi oscila. Acest model poate fi studiat uşor în electrostatică şi se găseşte rezultatul că electronul este atras spre centrul sferei cu o forţă proporţională cu distanţa. Dar el nu permitea explicarea faptului că un atom posedă numeroase linii de absorbţie. În lipsa unui model fizic, trebuia să ne mulţumim cu o expresie a constantei dielectrice în care intervin mai mulţi termeni, corespunzători diferitelor frecvenţe de absorbţie.

Odată cu teoria relativităţii a apărut o altă dificultate. Într-o bandă de absorbţie, constanta dielectrică devine mai mică decît unitatea; după teoria lui Maxwell, viteza undelor ar trebui deci să fie aici mai mare decît viteza luminii în vid, ceea ce pare incompatibil cu postulatul teoriei relativităţii. Pentru a rezolva această dificultate, s-a remarcat că viteza de fază, care este direct legată de indicele de refracţie, nu se confundă cu viteza de propagare a energiei decît într-un mediu nedispersiv. Dacă mediul este dispersiv, viteza undelor este dată de viteza de grup, introdusă de Hamilton în 1839 şi folosită de lordul Rayleigh în 1894 în a sa „Teorie a sunetului". Şi această ultimă noţiune este insuficientă în cadrul benzilor de absorbţie. În acest din urmă caz, Sommerfeld a definit în 1907 o viteză de semnal, iar Brillouin, în 1914, o viteză de propagare a energiei: doar aceste două viteze au în toate cazurile o semnificaţie fizică şi sînt totdeauna inferioare vitezei luminii în vid, cum cere teoria relativităţii. Aceste noţiuni sînt valabile oricare ar fi natura undelor, iar lucrările lui Sommerfeld şi Brillouin servesc şi azi drept bază electroniştilor care întîlnesc probleme asemănătoare, în special în ghidurile de undă, în liniile periodice şi în plasmă.

Astfel, teoria electronilor a cunoscut succese şi dificultăţi. Succesul obţinut în 1896 de Lorentz în explicarea efectului Zeeman constituia un argument important în favoarea sa. Explicînd într-un mod coerent numeroase fapte, ea dovedea că avea o bază sănătoasă, chiar dacă erau necesare corecţii pentru a elimina dificultăţile.

PROPRIETĂŢILE ELECTRICE ALE METALELOR. În secolul al XIX-lea se stabilise că deplasarea curentului electric în metale nu este însoţită de un transport apreciabil de materie, spre deosebire de ceea ce se întîmplă în cazul electroliţilor: era deci normală identificarea purtătorilor curentului cu electronii cu masă atît de mică, care tocmai fuseseră descoperiţi, cu atît mai mult cu cît încălzind metalele sau bombardîndu-le cu lumină ultravioletă se putea extrage din ele electroni. Acest ultim fapt a condus uşor la concluzia că în metale există electroni slab legaţi de restul materiei. Continuîndu-l pe Thomson şi Riecke, P. Drude a presupus în 1900 că aceşti electroni sînt liberi şi că ei formează un fel de gaz care scaldă porţiunile pozitive din atomi. Ca şi moleculele unui gaz, aceşti electroni sînt animaţi de o mişcare dezordonată asupra căreia aplicarea unui cîmp electric suprapune o mişcare de ansamblu. Ionii perturbă această mişcare şi, ca şi în teoria cinetică a gazelor, se poate defini un parcurs liber mijlociu, care reprezintă distanţa parcursă în medie de către un electron între două ciocniri cu ionii. De aici se deduce uşor expresia conductibilităţii electrice, ca şi în teoria gazelor ionizate. În timpul ciocnirilor dezordonate cu ionii, electronii le transferă o parte din energia lor cinetică care se transformă astfel în căldură: acesta reprezintă efectul Joule.

După ce a explicat conductibilitatea electrică, Drude a încercat să explice conductibilitatea căldurii în metale, presupunînd că transportul căldurii este efectuat de electroni. Rezultatul a fost neaşteptat, deoarece el a putut deduce legea obţinută experimental de Wiedemann şi Franz: conductivitatea electrică σ şi conductivitatea termică χ sînt proporţionale; raportul lor, identic pentru toate metalele, este dat de expresia $\chi/\sigma = 3(k^2/e^2)\,T$, unde T reprezintă temperatura absolută, e — sarcina electronului şi k — constanta lui Boltzmann. În cursul secolului al XIX-lea s-au descoperit şi alte legături între căldură şi electricitate: fenomenele termoelectrice. În 1822, Seebeck a observat un fenomen care mai tîrziu a fost recunoscut ca fiind datorat apariţiei unui curent electric într-un circuit format din mai multe metale, ale căror zone de contact sînt menţinute la temperaturi diferite. În 1834, Peltier a descoperit că trecerea curentului prin contactul a două metale diferite provoacă producere sau absorbţie de căldură în funcţie de sensul curentului. Aceste fenomene pot fi explicate calitativ prin teoria lui Drude, iar termodinamica permite explicarea lor cantitativă. În sfîrşit, vom vedea că această teorie explică corect şi emisia termoionică.

Dar aici se opresc succesele sale. Conform expresiei pe care ea o dădea pentru rezistivitatea electrică, aceasta ar fi trebuit să varieze cu rădăcina patrată a temperaturii absolute, în timp ce experienţa arată că relaţia este liniară. Pe de altă parte, termodinamica statistică clasică afirmă că fiecare electron posedă în medie o energie egală cu $(3/2)kT$, ca şi moleculele unui gaz perfect, ceea ce ar conduce la un rezultat eronat în ceea ce priveşte căldura specifică a metalelor: aceasta nu ar urma legea lui Dulong şi Petit, în timp ce experienţa arată că această lege este bine verificată. În sfîrşit, cînd Lorentz a încercat, în 1905, să perfecţioneze teoria lui Drude prin raţionamente asupra electronilor, ale căror viteze ar avea o distribuţie maxwelliană, şi nu asupra unor valori medii, el a găsit un factor 2 în locul factorului 3 din legea lui Wiedemann şi Franz, distrugînd astfel concordanţa cu experienţa.

În ciuda acestor dificultăţi, aspectul pozitiv al teoriei lui Drude era prea important pentru a o respinge, chiar dacă nu se ştia cum poate fi îmbunătăţită. Ipoteza de bază a acestei teorii, adică rolul jucat de electroni în conductibilitatea electrică a metalelor, a fost în orice caz confirmată printr-o verificare experimentală directă. În 1917, Tolman şi Stewart au măsurat raportul e/m al sarcinii şi masei particulelor responsabile de transportul curentului electric. Ei frînau brusc o bobină de cupru ce se rotea cu viteză mare în jurul axei sale: datorită inerţiei, purtătorii de sarcină tindeau să-şi continue mişcarea şi produceau un curent într-un galvanometru amplasat la extremităţile bobinei, prin intermediul unor perii. Reluată şi perfecţionată, această experienţă a furnizat o valoare a lui e/m egală cu cea a electronilor din radiaţiile catodice şi a confirmat astfel rolul electronilor în deplasarea curentului electric.

EMISIA TERMOIONICĂ. Unul dintre succesele teoriei lui Drude l-a constituit explicarea efectului termoionic, adică emisia electronilor de către metalele încălzite. Încă din secolul al XVIII-lea, numeroşi autori, începînd cu Du Fay în 1733, remarcaseră faptul că aerul devine conductor în vecinătatea metalelor calde. Acest fenomen a reţinut puţin atenţia pînă la experienţele efectuate un secol mai tîrziu de A. Becquerel (1853), Guthrie (1873) şi R. Blondlot (1887). În 1880, J. Elster şi H. Geitel, au efectuat studiul sistematic al electrizării corpurilor calde. Thomas Edison a efectuat în 1881 o observaţie fundamentală asupra deplasării curentului electric între un fir cald şi un electrod rece, plasaţi în acelaşi recipient vidat: pentru ca curentul să treacă, este necesar ca electrodul să fie pozitiv faţă de firul cald. Această proprietate a fost studiată amănunţit de W. Preece în 1855 şi mai ales de J.A. Fleming în 1890—1896. Ea se interpretează uşor dacă se admite că filamentul emite particule încărcate negativ: aceasta reprezintă emisia termoionică.

Marele teoretician al emisiei termoionice a fost Owen William Richardson, care a încercat să explice, pe baza teoriei lui Drude, variaţia exponenţială a curentului emis de un fir cald în funcţie de temperatura sa, lege pe care el a obţinut-o experimental.

El considera că electronii sînt reţinuţi în solide prin forţe analoage tensiunii superficiale care reţine moleculele în interiorul unui lichid şi care nu lasă să treacă decît o mică parte în starea de vapori. Transpunînd formula ce dă tensiunea de vapori, el a obţinut legea $I = aT^{1/2} \exp(-b/T)$.

Deoarece raţionamentul său nu i se părea satisfăcător, iar anumite experienţe tindeau să pună la îndoială existenţa emisiei termoionice în vid, el, ca şi alţi autori, a restudiat problema. Bazîndu-se pe consideraţii de termodinamică, el a obţinut în 1912 o expresie uşor modificată, $I = AT^2 \exp(-B/T)$.

Experienţa nu poate decide alegerea între cele două formule, deoarece exponenţiala maschează variaţiile în $T^{1/2}$ sau în T^2. Totuşi, a doua formulă este cea acceptată în momentul de faţă. De fapt, ea poate fi stabilită şi pornind de la un calcul statistic care ţine seamă de distribuţia vitezei electronilor. În plus, Dushman a furnizat în 1923 un argument decisiv, demonstrînd că coeficientul A din legea lui Richardson modificată reprezintă o constantă universală a cărei valoare a determinat-o. Introducerea mecanicii cuantice de către Sommerfeld în 1928, s-a tradus doar printr-o multiplicare cu 2 a coeficientului lui Dushman, pentru a ţine seamă de cele două valori ($\pm 1/2$) ale spinului.

Măsurările experimentale au permis determinarea constantelor A şi B pentru diferite substanţe. Coeficientul B este deosebit de important, deoarece este proporţional cu ceea ce se numeşte „potenţialul de ieşire" al corpului respectiv. Teoriile emisiei electronilor din solide admit, într-adevăr, că există la suprafaţa solidului o barieră de potenţial care împiedică electronii să iasă. În emisia termoionică, prin încălzirea metalului se furnizează unei părţi dintre electroni o energie suficientă pentru a o depăşi. În 1914, Schottky a calculat înălţimea acestei bariere, determinînd forţa de atracţie ce se exercită asupra unui electron care scapă din solid, prin metoda „imaginilor electrice", binecunoscută în electrostatică. Totuşi, doar mecanica cuantică permite calculul riguros al potenţialelor de ieşire.

EMISIA SECUNDARĂ ŞI EFECTUL FOTOELECTRIC. Şi alte metode, cunoscute pe la 1900, permiteau furnizarea surplusului de energie necesar electronilor pentru a depăşi această barieră de potenţial. Astfel, un fascicul de electroni „primari" ce loveşte suprafaţa unui solid, conductor sau izolator, poate extrage din el electroni „secundari". Acesta este mecanismul emisiei secundare, care a fost descoperit în acea perioadă de Austin şi Starke.

Totuşi fenomenul cel mai important în această direcţie îl constituie efectul fotoelectric, descoperit de H. Hertz în 1887 şi studiat în anii următori de Hallwachs: un corp solid poate emite electroni sub acţiunea unei radiaţii luminoase sau ultraviolete. Acest fenomen nu era uimitor *apriori*, deoarece se ştia că radiaţia transportă energie. Studiul său experimental a condus, totuşi, la un fapt tulburător, pus în evidenţă de Lenard: cînd este variată intensitatea luminii, fără a se modifica distribuţia sa spectrală, numărul de electroni emişi variază proporţional cu intensitatea luminoasă, dar viteza lor rămîne aceeaşi. Acest rezultat este deosebit de uimitor cînd intensitatea luminii devine foarte slabă, deoarece pare atunci că asupra fiecărui electron emis s-a concentrat o mare parte din energia luminoasă primită.

Pentru a explica acest fapt, Einstein a formulat ipoteza conform căreia lumina este formată din „grăunţe" de energie, aşa-numiţii fotoni, a căror energie $h\nu$ este proporţională cu frecvenţa ν. În teoria sa dedicată radiaţiei corpului negru, Planck cuantificase deja energia oscilatorilor care produceau radiaţia, dar admisese că energia electromagnetică poate varia în mod continuu. Punctul de vedere al lui Einstein este mai logic, dar şi mai îndrăzneţ, deoarece se împotriveşte noţiunii clasice de undă electromagnetică. Mai tîrziu, mecanica ondulatorie a reuşit să împace cele două puncte de vedere, atribuind cîmpului electromagnetic un aspect dublu, ondulator şi corpuscular.

Teoria efectului fotoelectric propusă de Einstein a fost deplin confirmată de măsurătorile efectuate de Millikan cu lumină monocromatică. Aceste măsurători au arătat că energia electronilor emişi este dată de expresia $h\nu - e\Phi$, unde Φ este potenţialul de ieşire, determinat prin studiul emisiei termoionice. Această lege se explică uşor dacă se admite că fiecare foton comunică energia sa $h\nu$ unui electron care trebuie să efectueze el însuşi lucrul $e\Phi$ pentru a ieşi din solid. Ea arată că efectul fotoelectric nu poate apărea decît folosind lumină a cărei frecvenţă este suficient de mare pentru ca energia $h\nu$ a unui foton să fie superioară lucrului de ieşire $e\Phi$.

IONIZAREA. Fenomenele de ionizare a atomilor pot fi asemuite cu cele ale extracţiei electronilor din solide. Astfel, ionizarea cu lumină ultravioletă este asemănătoare efectului fotoelectric. Modelul atomului lui Thomson nu se potrivea explicării fenomenelor complexe observate în gazele ionizate şi legăturii lor cu emisia luminii în tuburile cu descărcare. Nu acelaşi lucru se putea afirma despre modelul propus de Bohr în 1913.

Conform teoriei lui Bohr, electronii nu pot ocupa în atomi decît stări staţionare, corespunzătoare unor orbite eliptice, de-a lungul cărora ei nu pot radia. Un electron suficient de energic, care se ciocneşte cu atomul, îi poate ceda o parte din energia sa, ceea ce face ca un electron intern să treacă de pe nivelul său normal E_1 pe un nivel de energie mai mare E_2, adică excită atomul, sau chiar poate să-i smulgă un electron intern, adică să ionizeze atomul; se spune atunci că electronul a suferit o ciocnire neelastică, spre deosebire de ciocnirile elastice, în care atomul îşi păstrează constantă energia sa internă şi se comportă ca un solid nedeformabil din mecanica clasică.

La revenirea electronului intern de pe nivelul E_2 pe nivelul E_1, el emite un foton de frecvenţă $\nu = (E_2 - E_1)/h$. Acest mecanism de emisie al undelor electromagnetice, care este practic singurul în domeniul luminii vizibile, a jucat un rol neglijabil în radioelectricitate pînă la lucrările care au condus la descoperirea maserului, prin 1950.

Ideile lui Bohr au fost confirmate după 1913 de o experienţă foarte importantă datorată lui J. Franck şi G. Hertz.

Producînd un fascicul de electroni cu viteză reglabilă printr-un sistem de grile, în vapori de mercur, Franck şi Hertz au măsurat curentul primit pe un anod în funcţie de energia electronilor. Ei au observat minime succesive corespunzătoare energiilor de excitare ale mercurului. Comparînd energia minimă de excitare (4,9 eV) cu frecvenţa radiaţiei luminoase emisă de atomul excitat, ei au obţinut valoarea constantei h a lui Planck. Această determinare a lui h a fost considerată de către Planck cea mai directă, dacă nu chiar cea mai precisă.

Ciocnirile dintre atomii ce au o energie termică suficientă explică ionizarea gazelor calde şi în special a flăcărilor. Coeficientul de ionizare poate fi determinat cu ajutorul termodinamicii. Într-adevăr, este vorba de un echilibru între atomi, pe de o parte, şi ioni şi electroni, pe de alta, analog echilibrului chimic. Studiul său a fost efectuat de Megh Nad Saha în 1920; deşi scopul său iniţial era depărtat de electronică, fiind legat de studiul atmosferelor stelare, a constituit totuşi o contribuţie importantă la cunoştinţele noastre despre gazele ionizate.

C. INVENTAREA TUBURILOR ELECTRONICE ŞI AVÎNTUL RADIOELECTRICITĂŢII

DIODA TERMOIONICĂ. În timp ce savanţii îşi clarificau punctele de vedere asupra teoriei electronice a materiei, alţi cercetători încercau să folosească electronul în scopuri practice. Astfel, Fleming a întrevăzut posibilitatea detecţiei oscilaţiilor electrice cu ajutorul unei diode termoionice, iar în 1905 şi-a brevetat acest procedeu pentru transformarea curenţilor alternativi în curenţi continui. În cursul anilor următori, numeroase descoperiri şi perfecţionări au contribuit la punerea la punct a tuburilor cu vid moderne, pornind de la dioda lui Fleming.

Studiind emisia unui fir de platină, Wehnelt a descoperit întîmplător catodul cu oxizi, în 1903. El a descoperit o emisie din anumite regiuni ale firului, la o temperatură prea scăzută pentru ca aceasta să poată fi atribuită firului însuşi: el a presupus că aceasta se datora impurităţilor şi, după ce a studiat sistematic emisia oxizilor metalici, a ajuns la concluzia că oxizii alcalino-pămîntoşi sînt cei mai buni emiţători termoionici. Numeroşi autori au abordat atunci studiul mecanismului catodului cu oxizi, dar a trebuit să se aştepte teoria semiconductoarelor pentru a se înţelege funcţionarea sa, pentru care au mai rămas încă multe aspecte neclare. Aceasta n-a împiedicat însă utilizarea noului catod în aproape toate tuburile de recepţie radioelectrică.

Prin 1910, Irving Langmuir, lucra în laboratorul firmei *General Electric* la perfecţionarea tuburilor cu incandescenţă şi la punerea la punct a tuburilor cu radiaţii X cu vid înaintat. Fiind chimist de formaţie, el a efectuat cercetări strălucite asupra wolframului, care i-au permis realizarea unor tuburi cu incandescenţă de mare randament şi a unor catozi pentru tuburile cu vid. În 1913, Langmuir a publicat un studiu foarte important asupra factorilor care reduc emisia termoionică la o valoare inferioară celei date de formula lui Richardson. Datorită lucrărilor sale asupra tuburilor cu filament de wolfram, el a putut rezolva problema emisiei electronilor de către metale pure în vid perfect.

Electronii emişi formează iniţial o „sarcină spaţială“ negativă, care limitează emisia la temperaturile înalte ale catodului şi la tensiunile mici ale anodului; Langmuir a stabilit faptul că curentul este proporţional cu puterea 3/2 a tensiunii anodului, pînă ce atinge valoarea de saturaţie dată de legea lui Richardson. Child găsise în 1911 o formulă analoagă pentru un curent de ioni pozitivi. Cercetările lui Langmuir, efectuate asupra diodelor cu electrozi plani, au fost completate de cercetările lui Langmuir şi K. Blodgett asupra electrozilor sferici şi cilindrici (1923), în care s-a ţinut seamă şi de distribuţia vitezelor electronilor emişi de catod.

Studiind efectul gazelor reziduale asupra curentului emis, Langmuir şi-a îndreptat atenţia asupra tehnicii vidului. El a realizat în 1916 pompa cu condensare cu vapori de mercur care constituie o perfecţionare considerabilă a pompei de difuzie inventată de W. Gaede în 1915. Progresele tehnicii vidului au permis debutul veritabil al carierei tuburilor electronice. Astfel, în 1915, Dushman, un colaborator al lui Langmuir, a construit o diodă cu vid înaintat, care permite redresarea curenţilor intenşi la tensiuni înalte, pe care l-a denumit „kenotron“ şi care a găsit rapid numeroase aplicaţii.

INVENTAREA TRIODEI. Prin 1903, Lee de Forest căuta, de asemenea, un detector sensibil pentru undele hertziene. După mai multe încercări, el a plasat într-un tub vidat un electrod cald şi unul rece legaţi la pămînt şi respectiv la circuitul în studiu, în serie cu o baterie. Antena de recepţie era legată la o foiţă metalică ce înconjura tubul, iar după 1906, ea era legată la un al treilea electrod intern, care în 1907 a luat forma unei grile plasată între catod şi anod.

Lee de Forest a realizat astfel primul tub cu trei electrozi, audionul, sau străbunul triodelor moderne. Acesta a fost folosit doar ca detector pînă în 1912, iar asemănarea lui cu dioda lui Fleming a condus la îndelungate polemici. Totuşi, prezenţa unui electrod de comandă reprezenta un „releu“ capabil să amplifice semnalele primite. Încercînd să-l folosească ca amplificator, în 1911, F. Lowenstein a întîlnit mari dificultăţi, datorate vidului insuficient prezent în tub. El a reuşit totuşi, iar în anul următor şi-a depus brevetul de amplificator „clasa A“, în care trioda funcţionează în regim liniar.

Interesul arătat tubului cu trei electrozi s-a răspîndit în mai multe ţări înainte de războiul din 1914. În Franţa, căpitanul Ferrié şi-a propus, împreună cu colaboratorul său H. Abraham, să-l construiască şi să-l perfecţioneze. În Germania, R. von Lieben a efectuat cercetări asupra tubului cu trei electrozi şi este adesea considerat drept co-inventatorul triodei. În 1915, Langmuir a realizat un progres considerabil prin realizarea „pliotron“-ului, care este o triodă cu vid înaintat, a cărei funcţionare nu mai era perturbată de ionizarea gazului rezidual. În aceste condiţii, tuburile cu vid dovedesc o mare supleţe în funcţionare, ceea ce le-a asigurat succesul. Posibilităţile lor au fost mult mărite prin introducerea unor grile suplimentare: inventarea tetroidei, sau a tubului cu patru electrozi de către Hull şi Schottky în 1916, a pentodei de către olandezul B. Tellegen în 1928 etc.

T.F.F. ÎNAINTE DE TUBURILE CU VID. În momentul în care au apărut tuburile electronice, radioelectricitatea îşi găsise deja o aplicaţie practică: T.F.F.-ul (telegrafia fără fir). În timp ce succesorii lui H. Hertz efectuau în laborator experienţe de optică hertziană, G. Marconi a avut prin 1895 ideea să folosească undele descoperite de Hertz pentru a efectua telegrafie fără fir. În aceeaşi perioadă, în Rusia, A. Popov căuta să detecteze furtunile, captînd cu ajutorul unui receptor prevăzut cu o antenă, undele pe care acestea le produc. În continuare, pînă la moartea sa, care a avut loc în 1906, el a încercat să realizeze legături radioelectrice la distanţe din ce în ce mai mari. Totuşi, experienţele cele mai spectaculoase, şi care au popularizat T.F.F.-ul, au fost efectuate de Marconi în Anglia după 1897. Folosind toate elementele de care dispunea, ca eclatorul lui Hertz, circuitul lui Tesla, antena lui Popov, coerorul lui Branly, el a stabilit o legătură peste Canalul Mînecii în 1897, iar peste Atlantic în 1902, spulberînd previziunile pesimiste asupra posibilităţilor de detecţie a undelor radioelectrice la mii de kilometri.

Aceste succese au orientat radioelectricitatea într-o direcţie cu totul diferită de optica hertziană: cea a transmisiei informaţiilor, iniţial prin telegrafie fără fir, iar apoi prin telefonie fără fir, prin radiodifuziune, prin televiziune şi prin fascicule hertziene. Folosirea staţiilor T.F.F. s-a generalizat rapid: unele staţii au fost montate de către Marconi pe vapoare încă din 1898 şi ele au fost folosite şi în timpul războiului ruso-japonez din 1904. Se foloseau atunci trenuri de undă amortizate, produse de emiţătoare cu eclatoare realizate în variante multiple. Totuşi, s-au obţinut foarte rapid unde întreţinute potrivite pentru telefonie. În primul deceniu al secolului al XX-lea existau două soluţii: emiţătorul cu arc şi emiţătorul cu alternator. Emiţătoarele cu arc, inventate de către danezul Poulsen în 1903, au permis atingerea unor puteri de mai multe sute de kilowaţi, dar numai la lungimi de undă mai mici de 1 000 m. În Statele Unite, inginerul de origine sîrbă Nikola Tesla, care furnizase deja contribuţii importante în electrotehnică, a găsit o altă cale, prin realizarea în 1891 a unui alternator cu 384 poli, care putea să atingă frecvenţa de 10 kHz. După primul război mondial, alternatoarele de înaltă frecvenţă au echipat reţeaua radiotelegrafică internaţională; unele dintre ele funcţionau şi după 1944.

În timp ce emiţătoarele erau perfecţionate, erau descoperite şi noi tipuri de receptoare. În 1900, Ferrié a pus la punct detectorul electrolitic. Iar detectorul cu galenă, folosit şi azi de către radioamatori, a cunoscut un mare succes, fiind primul semiconductor folosit în radioelectricitate.

FOLOSIREA TUBURILOR CU VID. Aceasta era situaţia cînd s-a trecut, în 1912, la utilizarea tuburilor cu vid ca amplificatoare. De fapt noţiunea de amplificare era deja cunoscută: astfel, pentru a compensa slăbirea semnalelor de-a lungul liniilor telefonice, se introduceau la intervale regulate „releuri microfonice", formate dintr-un microfon plasat în faţa unui difuzor: curentul produs de microfon putea să aibă o intensitate mult mai mare decît cea a curentului primit de difuzor. Totuşi, tuburile cu vid au permis o utilizare mult mai suplă. Este suficientă aplicarea pe grila unei triode a unei tensiuni alternative de mică amplitudine pentru a obţine în circuitul anodic o energie cu mult mai mare.

Mai mulţi cercetători au remarcat posibilitatea măririi cîştigului amplificatorului, al amplificării, aducînd pe grilă o fracţiune din energia de înaltă frecvenţă produsă în circuitul anodic, introducînd cu alte cuvinte o „reacţie". Germanul Meissner a observat că amplificatorul producea el însuşi oscilaţii electrice cînd proporţia reacţiei depăşea un anumit prag de amorsare şi, în 1913, el a depus primul brevet asupra folosirii triodei ca oscilatoare.

Un exemplu al bogăţiei posibilităţilor oferite de tuburile cu vid îl constituie inventarea de către H. Abraham şi E. Bloch, în 1918, a multivibratorului: este vorba de un montaj care nu furnizează oscilaţii sinusoidale, ci basculează fără încetare între două poziţii instabile; acest prim „sistem electronic basculant" a permis introducerea tuburilor cu vid în maşinile electronice de calcul, cîteva decenii mai tîrziu.

O altă funcţie a tuburilor cu vid o constituie modulaţia amplitudinii unei unde purtătoare de înaltă frecvenţă printr-o oscilaţie de joasă frecvenţă. Deşi joacă un rol esenţial în transmisia informaţiei prin undele electromagnetice, sensul noţiunii de modulaţie n-a apărut de la început. În 1910, se considera că o undă modulată posedă o singură frecvenţă şi o amplitudine variabilă. Un studiu matematic al undei modulate, efectuat de C.R. Englund, în august 1914, a rămas fără consecinţe practice; dar, în decembrie 1914, R.A. Heising a demonstrat experimental că o undă modulată conţine, pe lîngă purtătoare, şi două benzi laterale ce pot fi separate cu ajutorul unor filtre. În 1915, Arnold şi Carson, au arătat că fiecare bandă laterală este suficientă pentru a transmite întreaga informaţie. Aceasta avea să conducă treptat la suprapunerea liniilor telefonice, apoi a canalelor de televiziune, unul alături de celălalt în spectrul frecvenţelor, prin modularea filtrării; drept rezultat au apărut progrese paralele în metodele de transmisie a informaţiei cu sau fără fir. Alte metode de modulaţie au condus mai tîrziu la noi posibilităţi; astfel, încă din 1920 a fost studiată modulaţia undelor în frecvenţă, dar interesul acesteia nu a devenit clar decît după 1936, în urma lucrărilor lui Armstrong. Fiecărui tip de modulaţie şi fiecărei forme de undă îi corespunde un „spectru de frecvenţe“ prin intermediul analizei Fourier. Una dintre problemele cele mai importante ale telecomunicaţiilor constă în a plasa maximul de informaţii într-o bandă de frecvenţe cît mai îngustă posibil. Aceasta poate fi rezolvată cu ajutorul circuitelor complexe formate din tuburi şi reţele electrice.

TEORIA CIRCUITELOR ELECTRICE. Pentru a folosi tuburile electronice, trebuie să li se asocieze rezistenţe, capacităţi, inductanţe şi transformatoare, care formează împreună circuite electrice. Legile care guvernează tensiunile şi curenţii din aceste circuite au fost stabilite de Kirchhoff în 1845. Aplicarea acestora a fost uşurată de utilizarea noţiunii de impedanţă, introdusă în 1886 de către Heaviside, pentru a exprima raportul între tensiunea şi curentul dintr-un circuit format dintr-o rezistenţă şi o inductanţă, şi generalizată în anii următori la circuitele ce conţin capacităţi. Reprezentarea impedanţelor sub formă de vectori sau de numere complexe, sub influenţa lui Kennelly şi Steinmetz, a adus mari servicii în electrotehnică şi în radioelectricitate. Ea a permis deducerea numeroaselor proprietăţi ale circuitelor din cele ale funcţiilor analitice: vom cita ca exemplu formulele obţinute de O. Bode şi M. Bayard în 1935, care stabilesc legătura dintre partea reală şi cea imaginară a unei impedanţe, sau între atenuarea şi defazajul provocate de un astfel de circuit.

Datorită proprietăţilor funcţiilor analitice, noţiunea de impedanţă permite obţinerea proprietăţilor circuitelor supuse unor tensiuni electrice sinusoidale. Proprietăţile lor pentru regimuri variabile mai complicate pot fi deduse de aici printr-o metodă de „calcul operaţional“. În forma sa iniţială, această metodă a fost introdusă de către Heaviside la sfîrşitul secolului al XIX-lea, dar rigurozitatea sa matematică a fost foarte discutată. Ea a fost justificată în 1929 prin lucrările lui Carson, cu ajutorul transformărilor Fourier şi Laplace din teoria funcţiilor de variabile complexe. Sub această formă ea reprezintă o metodă generală de studiu al liniilor şi circuitelor electrice. Importanţa sa fiind precizată şi prin teoria distribuţiilor a lui L. Schwartz, ea a găsit aplicaţii în acustică, iar mai recent şi în optică.

Introducerea unor elemente active în circuite, cum ar fi tuburile electronice, ridică problema stabilităţii lor; bazîndu-se pe teoria funcţiilor de variabile complexe şi pe noţiunea de reacţie, H. Nyquist a stabilit în 1932 un important criteriu de stabilitate care se aplică şi la servomecanisme. Am mai întîlnit noţiunea de reacţie la trecerea de la amplificatoare la oscilatoare. În acest caz era vorba de o „reacţie pozitivă", deoarece fracţiunea din semnalul de la ieşire, reintrodusă la intrare, trebuie să rămînă în fază cu semnalul introdus în amplificator, pentru a i se adăuga. Cîştigul amplificatorului creşte în acest caz şi poate deveni chiar infinit; în acest caz sistemul devine instabil şi furnizează energie la o frecvenţă care îi este caracteristică, fie sub formă de oscilaţii sinusoidale, fie sub formă de oscilaţii de relaxare, fie prin basculări între două stări instabile. Pentru ca acest lucru să fie posibil, este evident necesar ca reţeaua să posede elemente active, de exemplu tuburi sau tranzistoare, care să furnizeze energie. Cînd o fracţiune din semnalul de la ieşire este adus la intrare în opoziţie de fază, ea se scade din semnalul introdus: această „reacţie negativă" micşorează cîştigul amplificatorului; unul dintre avantajele ei este că face cîştigul mult mai puţin sensibil la variaţiile exterioare şi că reprezintă un proces de stabilizare. Noţiunea de reacţie are o importanţă foarte generală, iar studiul ei furnizează o schemă matematică care permite o mai bună înţelegere a mecanismelor naturale de instabilitate (reacţie pozitivă) sau, dimpotrivă de stabilizare şi de reglare, din domenii foarte diferite. Ea are o importanţă primordială în electronica aplicată.

Teoria circuitelor electrice continuă să fie extrem de activă; ea apelează la metodele matematice cele mai moderne, fără a pierde din vedere aspectele fizice. Astfel, calculul tensorial şi matricial joacă în studiul lor un rol esenţial de la publicarea în 1938 a lucrării lui G. Kron intitulată *Application of Tensors to the Analysis of Rotating Electrical Machinery*. Doar metodele matriciale permit exprimarea sub o formă simplă a relaţiilor dintre tensiuni şi curenţi, în diferitele ramuri ale unui circuit complicat, şi studiul circulaţiei energiei între diferitele ramuri.

Şi topologia a furnizat un ajutor important: ea a condus pe S. Mason la introducerea, în 1953, a metodei grafurilor de fluenţă, care permit deducerea anumitor proprietăţi ale circuitelor din structura lor topologică. Ansamblul acestor metode a contribuit la folosirea tuburilor cu vid şi mai tîrziu a tranzistoarelor, în scopuri practice sau ştiinţifice.

ZGOMOTUL ÎN AMPLIFICATOARE ŞI RECEPTOARE. În orice legături de telecomunicaţii, cu sau fără fir, în orice tip de recepţionare a semnalelor, sensibilitatea receptorului reprezintă un factor esenţial. La începutul radioelectricităţii, problema detectorului a fost una dintre cele mai importante. Astăzi, atenuarea zgomotului de fond constituie o preocupare constantă a inginerilor şi experimentatorilor.

În realitate, problema zgomotului depăşeşte cadrul radioelectricităţii. În prefaţa lucrării lui P. Grivet şi A. Blaquière, *Bruit de fond* (1958), D. Gabor nota că „frontierele universului omenesc sînt reprezentate de zgomotul de fond: aceasta constituie una dintre descoperirile fundamentale ale secolului nostru. Faptul este adevărat şi în privinţa spaţiului, atît la limita microscopică cît şi la cea cosmologică, şi în privinţa timpului, fie la explorarea trecutului, fie la prezicerea viitorului. Anticii îşi imaginau capătul lumii ca o faleză pustie la marginea unei mări în ceaţă. Pentru contemporani, nu mai rămîne din această imagine decît ceaţa, o ceaţă mişcătoare, impalpabilă, şi mai de nepătruns decît oţelul".

Se ştie de mult timp că zgomotul stabileşte limita sensibilităţii aparatelor electrice. G. de Haas-Lorentz a demonstrat, încă din 1912, că sensibilitatea unui galvanometru este limitată de fluctuaţiile care reflectă mişcarea browniană la scara macroscopică. La fel, zgomotul de fond al amplificatoarelor electronice limitează sensibilitatea receptoarelor radioelectrice: W. Schottky i-a explicat originea în 1918, dovedind că structura granulară a electricităţii antrenează fluctuaţii ale numărului de electroni emişi prin efect termoionic. Fluctuaţiile de curent ce rezultă în tuburile cu vid, produc „zgomotul de alice" al lui Schottky. În 1928, J. Johnson a studiat experimental o altă sursă de zgomot, semnalată şi ea de către Schottky: orice rezistenţă produce un zgomot de fond a cărui intensitate nu depinde decît de temperatura sa. În acelaşi an, H. Nyquist a prezentat teoria acestui zgomot, permiţînd lui Moullin şi colaboratorilor săi să deducă constanta lui Boltzmann din măsurători ale zgomotului radioelectric; în realitate teoria zgomotului termic din radioelectricitate se află într-o legătură directă cu cea a radiaţiei corpului negru. Pentru orice componentă a unui ansamblu radioelectric se poate defini o „temperatură echivalentă de zgomot", egală cu temperatura rezistenţei care ar radia aceeaşi putere cu a zgomotului la o frecvenţă dată. Temperatura zgomotului unui amplificator ideal ar trebui să fie zero absolut.

Aplicarea acestor teorii a permis realizarea unor amplificatoare foarte sensibile cu ajutorul triodelor şi pentodelor, îndeosebi datorită lucrărilor efectuate de D. North, A. Rack şi E. Spenke, între 1937 şi 1940. După 1945, au fost elaborate teorii analoage şi pentru tranzistoare, pentru cristalele detectoare şi pentru celulele fotoelectrice, de către A. van der Ziel şi alţi cercetători.

PROPAGAREA UNDELOR RADIOELECTRICE ÎN JURUL PĂMÎNTULUI. DESCOPERIREA IONOSFEREI. Succesul experienţelor transmisiunilor fără fir este legat nu numai de calitatea materialului folosit la emisie şi la recepţie, ci şi de condiţiile de propagare a undelor.

Încercările efectuate de Marconi la începuturile radiotelegrafiei, între Portsmouth (Marea Britanie) şi La Spezia (Italia), au arătat că undele radioelectrice se pot propaga dincolo de orizont, ajungînd la mari distanţe, în ciuda sfericităţii Pămîntului. Acest fenomen a fost atribuit iniţial difracţiei undelor. Dacă se presupune că Pămîntul este perfect conductor, problema difracţiei este asemănătoare celei pe care H. Poincaré a studiat-o deja în optică şi în acustică. Dar dacă vrem să ţinem seamă de conductibilitatea finită a solului sau a mării, ea se complică. Sommerfeld a furnizat o soluţie riguroasă a propagării undelor în prezenţa unui sol cu conductibilitate finită, dar presupus plan, în publicaţiile sale dintre 1909 şi 1926. Cercetări mult mai recente au fost consacrate acestei probleme de către Zenneck, Van der Pol, Niessen şi Norton. Problema devine foarte complicată dacă se introduc simultan atît conductibilitatea finită, cît şi sfericitatea Pămîntului: cercetările lui Watson, apoi cele ale lui Eckersley, Wedensky, Van der Pol şi Bremmer, care ţin seamă de ele, au permis o înţelegere mai corectă a anumitor particularităţi ale propagării la mari distanţe.

Calculele lui Poincaré arătau că difracţia undelor este incapabilă să explice succesul transmisiunilor transatlantice realizate de Marconi în 1901. Şi atunci, Kennelly în Statele Unite, Heaviside în Anglia şi Nagaoka în Japonia, au sugerat, în 1902, aproape simultan, explicaţia că undele ar putea să înconjure Pămîntul prin reflexii pe păturile superioare ionizate ale atmosferei; această ipoteză a fost sprijinită în Franţa de A. Blondel (1903) şi H. Poincaré (1904).

În lucrarea *Electromagnetic Theory*, în care a dovedit că liniile de transmisie produc o ghidare a undelor, Heaviside scria: „Apare un feomen asemănător şi în telegrafia fără fir. Apa mării, deşi este transparentă la lumină, are o conductibilitate suficientă pentru a face din ea un conductor de unde hertziene şi această afirmaţie este valabilă, deşi într-un mod mai puţin perfect, şi pentru pămînt. Prin urmare, undele se propagă la suprafaţa mării întocmai ca şi de-a lungul firelor... Poate exista, de asemenea, şi o pătură suficient de conductoare în atmosfera superioară. În acest caz, undele se propagă, ca să spunem aşa, mai mult sau mai puţin de-a lungul ei. În acest fel, ghidajul undelor este efectuat pe de o parte de mare, iar pe de alta de această pătură superioară".

Încă din 1880, geofizicienii prevăzuseră existenţa acestei pături ionizate în explicarea anumitor particularităţi ale aurorelor polare şi ale cîmpului magnetic terestru. Totuşi, această ipoteză nu putuse fi justificată experimental; aceeaşi afirmaţie este valabilă pentru mult timp şi pentru sugestia lui Kennelly şi Heaviside, în ciuda calculelor lui Watson şi Eccles.

Începuturile cercetărilor experimentale asupra ionosferei nu sînt desigur străine de succesul experienţelor asupra transmisiunilor la mari distanţe prin unde scurte; lungimile de undă mai mici decît 200 m fiind rezervate amatorilor, deoarece păreau puţin utilizabile, un grup de americani înzestraţi cu o aparatură puternică a încercat cu succes, în 1921, să obţină legături radio cu amatorii englezi; doi ani mai tîrziu, un radioamator francez stabilea o legătură Franţa-America în ambele sensuri. Succesul acestor experienţe era şi mai inexplicabil decît cel al experienţelor lui Marconi din 1901, dacă nu se apela la efectul ionosferei.

Dovada experimentală a existenţei sale a fost dată în 1925 de Appleton şi Barnett, care au observat interferenţe între o undă reflectată pe ionosferă şi o undă transmisă direct la receptor. În anul următor, americanii Breit şi Tuve au pus la punct o metodă de sondare foarte mult folosită încă: emiţînd spre cer semnale analoage semnalelor radiotelegrafice Morse, ei obţineau altitudinea păturii reflectante prin măsurarea timpului necesar undei să revină la receptor, după ce a fost reflectată. S-a putut dovedi astfel existenţa, la o altitudine de 120 km, a unei pături ionizate, pătura E, pe care sînt reflectate undele lungi pînă la frecvenţa de 3,5 MHz. În continuare, s-a descoperit, între 200 şi 400 km altitudine, o pătură F, care joacă un rol esenţial în reflexia undelor scurte, pînă la o frecvenţă de 7,5 MHz, iar mai tîrziu o pătură D, la altitudinea de 80 km. În realitate, structura ionosferei este foarte complicată, variind de la zi la noapte. În 1935, Jouaust şi Bureau de la Laboratorul naţional de radioelectricitate (Franţa), au stabilit o legătură între perturbaţiile ionosferice şi activitatea solară. Ionosfera, care reprezintă o „răspîntie a cercetărilor" după o expresie a lui Bureau, joacă un rol fundamental în reţeaua mondială de radiotelefonie şi de radiodifuziune, iar studiul ei reprezintă o ramură importantă a geofizicii. Apariţia metodelor de sondare directă prin rachete şi sateliţi a dat un nou avînt acestor studii. Aceste sondaje au arătat că păturile ionizate se extind mult mai departe de Pămînt decît se considera: acesta constituie unul dintre motivele reînnoirii studiului teoriei gazelor ionizate, la care cercetătorii ionosferei au adus o contribuţie importantă[1].

PARAZIŢII ATMOSFERICI. RADIOASTRONOMIA. O metodă originală de studiu al ionosferei, folosită de Bureau în Franţa, constă în considerarea „paraziţilor atmosferici" drept emiţători naturali. Existenţa acestor paraziţi era cunoscută încă de la începuturile radioelectricităţii, ca un factor perturbator. Astfel, prin 1916, Barkhausen a subliniat existenţa „fluierăturilor" produse de furtunile atmosferice; studiul lor, început de Eckersley în 1928, a fost reluat prin lucrările lui Storey în 1953. Încă din 1894, Lodge considera că unele emisii radioelectrice ar putea să ne parvină din spaţiile extraterestre, şi în special de la Soare, şi el şi-a propus să le detecteze, probabil în domeniul undelor centimetrice. Dar aparatele sale rudimentare nu i-au permis această performanţă şi abia în 1942 Southworth a putut să pună în evidenţă existenţa acestor emisii solare. Între timp, se năştea o nouă ştiinţă, bazată pe o descoperire ce trecuse iniţial aproape neobservată: studiind, în 1932, distribuţia paraziţilor atmosferici în funcţie de orientarea antenei de recepţie, Jansky a descoperit o emisie pe lungimea de undă de 14,60 m, provenind din Calea Laptelui. Această nouă ştiinţă, radioastronomia (vezi p. 600—608), este fiica radioelectricităţii, de la care a împrumutat instrumentele de observaţie şi căreia îi datorează unele dintre cele mai frumoase realizări ale ei. Ea a beneficiat din plin şi de cucerirea unei noi regiuni din spectrul undelor radioelectrice, domeniul microundelor.

D. MICROUNDELE

Pe măsură ce se dezvoltau transmisiunile fără fir şi radiodifuziunea, a fost necesar să se recurgă la frecvenţe din ce în ce mai înalte pentru a evita perturbarea legăturilor radioelectrice folosite deja, şi pentru a dispune de spectre de frecvenţă mai largi. Noile posibilităţi oferite de tuburile cu vid în producerea undelor sinusoidale de înaltă frecvenţă şi de mare putere, noile circuite inventate de numeroşi ingineri, o cunoaştere mai bună a condiţiilor de propagare a undelor şi a rolului ionosferei, au permis utilizarea undelor foarte scurte, ajungînd de la cîteva sute de metri la cîţiva metri.

---

[1] Deosebit de relevante apar lucrările acad. Th. Ionescu, prin care se elucidează rolul ionilor negativi de oxigen din păturile înalte ale atmosferei în propagarea undelor radio. — *N.I.-P.*

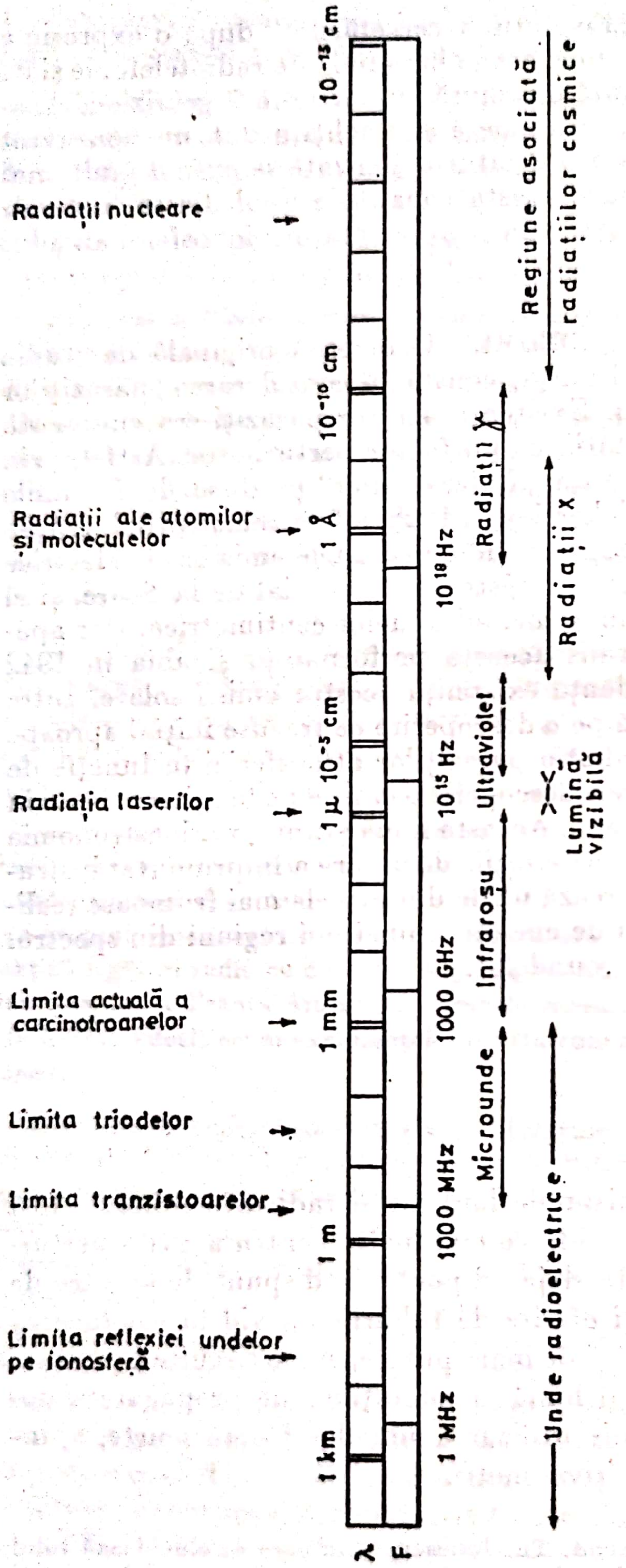


FIG. 6. GAMA RADIAŢIILOR ELECTROMAGNETICE (ÎN SCARĂ LOGARITMICĂ).

În cursa spre frecvențe înalte, s-a ajuns la un punct în care lungimea de undă era de același ordin de mărime cu cel al elementelor circuitelor utilizate. Aceasta constituie limita domeniului microundelor, care se întinde de la lungimi de undă de cîțiva decimetri la cîțiva milimetri, unde proprietățile undelor se apropie de cele ale luminii.

OPTICA HERTZIANĂ ÎNAINTEA ANULUI 1900. Încă de la sfîrșitul secolului al XIX-lea și în urma experiențelor publicate de H. Hertz în 1887, numeroși precursori au încercat să pună pe picioare o optică a undelor hertziene. Experiențele lui Hertz și ale succesorilor săi aveau ca scop în special verificarea previziunilor teoretice ale lui Maxwell și demonstrarea identității naturii undelor electromagnetice și luminii. Copiate, în general, după experiențele clasice din optică, ele se refereau la reflexia undelor, la refracție, la polarizare și la interferență.

Mai multe experiențe efectuate în această perioadă se refereau la studiul dielectricilor. Hertz însuși a studiat constanta dielectrică a unor substanțe variate, ca rășina, ametistul, permanganatul de potasiu și gazul carbonic. Branly a efectuat cercetări asupra transmisiei undelor hertziene prin lichide ca alcoolul sau petrolul. Birkeland a studiat, în 1894, dielectricii sintetici formați din pulbere de fier înglobată în parafină, care ne fac deja să ne gîndim la feritele moderne.

Toate aceste cercetări au fost efectuate cu unde foarte scurte.

Hertz, care îşi începuse experienţele cu unde de circa 3 m, lucra, în 1888, cu unde de 66 cm. Italianul A. Righi studia lungimile de undă de 10 cm şi 3 cm, folosite acum în instalaţiile radar, iar în 1897 a publicat sub titlul *L'Ottica delle oscillazioni elettriche* un prim tratat de optică a microundelor. La Calcutta, J. Ch. Bose efectua experienţe cu lungimi de undă de 5 mm.

Aceste unde, obţinute cu ajutorul unui circuit oscilant prevăzut cu un eclator şi avînd forma unor trenuri de undă amortizate, nu erau nici suficient de puternice, nici suficient de suple pentru a fi utilizate în telegrafie. Cercetările acestor precursori au avut totuşi unele repercusiuni directe în deceniile următoare. Astfel, E. Nichols şi J. Tear au reuşit, în 1923, să producă radiaţii de 0,22 mm lungime de undă. În anul următor, A. Glagoleva-Arkadieva a obţinut lungimea de undă de 82 μm producînd oscilaţii electrice în ulei vîscos care conţinea pilitură de cupru. Pentru a studia aceste unde, Nichols şi Tear au folosit o aparatură inspirată din optică; printre altele, ei au pus la punct interferometrele necesare măsurării frecvenţei acestor unde.

Între 1900 şi 1935 aceste cercetări au fost efectuate la periferia marelui curent al dezvoltării radioelectricităţii. Abia după 1935 microundele au revenit în atenţia cercetătorilor prin descoperirea unor noi circuite, a ghidurilor de undă şi a unor tuburi generatoare speciale.

GHIDURILE DE UNDE. Descoperirea proprietăţilor ghidurilor de undă îşi are originile în lucrările de la sfîrşitul secolului al XIX-lea. Pentru a se proteja contra radiaţiilor nedorite, experimentatorii îşi plasau eclatorul, care le servea drept sursă, într-un tub metalic gol în interior: nu era nimic uimitor în faptul că undele rodioelectrice se propagau în acesta ca şi lumina. Lodge a observat totuşi unele particularităţi ale propagării, explicate sumar de lordul Rayleigh, în 1897. Deşi problema propagării undelor în tuburi a atras atenţia unor savanţi iluştri ca J. J. Thomson, Larmor şi Drude, a trebuit să se aştepte pînă în 1936 pentru ca J. Carson, S. Meade, S. Schelkunoff şi G. Southworth să dea o teorie completă a ghidurilor de undă metalice şi a ghidurilor formate din cilindri dielectrici. În acelaşi an, L. Brillouin a arătat că propagarea în ghiduri cu secţiune rectangulară poate fi explicată prin interferenţa undelor plane ce se reflectă pe pereţi.

Acest mecanism cere ca cele două feţe opuse între care au loc reflexiile succesive în modurile cele mai simple să fie separate de mai mult de o semilungime de undă. Frecvenţa folosită trebuie să fie deci superioară unei anumite „frecvenţe prag", care, în cazul ghidurilor cu dimensiuni transversale de ordinul centimetrilor sau milimetrilor, se găseşte în gama microundelor. Modurile de propagare în ghidurile goale în interior pot fi descrise prin suprapunerea unor unde plane înclinate în raport cu axa ghidului; de aici rezultă că există totdeauna o componentă a cîmpului electric sau magnetic pe direcţia de propagare. Dimpotrivă, undele care se propagă de obicei pe liniile formate din doi conductori au cîmpuri perpendiculare pe direcţia de propagare; ele sînt cunoscute sub denumirea de „unde electromagnetice transversale" (unde TEM) şi se propagă cu viteza luminii în dielectricul ce înconjură conductorii. Spre deosebire de acestea, undele din ghidurile goale în interior sînt denumite „unde magnetice transversale" (unde TM) sau „electrice transversale" (TE), după natura lor.

Numai datorită faptului că iniţial erau cunoscute doar undele TEM, nu s-au putut înţelege, prin 1900, proprietăţile ghidurilor de unde. Studiul liniilor electrice era totuşi foarte avansat în acea perioadă. Fusese verificat faptul că undele se propagă în acestea cu viteza luminii în vid sau în dielectricul care le înconjură, ceea ce caracterizează undele TEM. Legătura dintre propagarea de-a lungul liniilor şi propagarea în vid a mai fost clarificată cînd H. Poincaré a regăsit, pornind de la ecuaţiile lui Maxwell, teoria liniilor şi, în particular, ecuaţia telegrafiştilor, care fusese stabilită în 1876 de către Heaviside, pornind de la noţiunile de curent şi tensiune şi de la legile lui Kirchhoff. Totuşi, se continua să se utilizeze pe larg noţiunile de curent şi de tensiune, care s-au dovedit insuficiente la frecvenţele foarte înalte. Teoria electromagnetică clasică, bazată pe ecuaţiile lui Maxwell, a găsit aici un frumos domeniu de aplicaţii, în probleme de circuite şi de antene, de radiaţie şi de difracţie. Ea a permis, printre altele, studiul circuitelor folosite în tuburile pentru microunde.

TRIODELE ŞI CLISTROANELE. După ce au fost descoperite proprietăţile amplificatoare ale tuburilor electronice, numeroşi specialişti au încercat să le folosească la generarea undelor scurte. Menţinînd grila unei triode la un potenţial pozitiv faţă de cel al catodului, Barkhausen şi Kurz au reuşit, în 1919, să obţină unde cu lungime de undă de 43 cm. Totuşi, treptat a devenit evident că trioda prezintă un defect grav la frecvenţe foarte înalte: cînd timpul de tranzit al electronilor între catod şi anod devine de acelaşi ordin de mărime cu perioada oscilaţiilor ce trebuie produse, apar defazaje care fac imposibilă funcţionarea ei. Pentru remedierea acestui efect, au apărut două posibilităţi. Una dintre ele, studiată de ruşii Deviatkov, Gurevici şi Hohlov, începînd din 1940, constă în construirea unor triode prevăzute cu electrozi plani sau cilindrici foarte apropiaţi: această cale a condus la „triodele-far“, care au permis obţinerea unor lungimi de undă de 5 cm. Cealaltă cale constă în utilizarea timpului de tranzit în loc de combaterea lui: aceasta s-a realizat în clistronul realizat în S.U.A. de fraţii R. şi S. Varian, pe de o parte, şi de W. Hahn şi G. Metclaff, pe de alta. În clistron, circuitul oscilant cu inductanţă şi capacitate, asociat triodei, este înlocuit printr-o cavitate obţinută prin închiderea celor două extremităţi ale unui tronson de ghid de undă.

W. Hansen a arătat, în 1938, la Universitatea Stanford (S.U.A.), că o cavitate electromagnetică posedă moduri proprii de rezonanţă, ca şi cavităţile folosite în teoria radiaţiei corpului negru. Electronii care traversează o astfel de cavitate sînt acceleraţi sau frînaţi de cîmpul electric de înaltă frecvenţă: se spune că ei suferă o modulaţie de frecvenţă. Electronii acceleraţi îi ajung astfel pe cei lenţi formînd grupuri de electroni, care pot ceda, prin inducţie, energia lor electromagnetică unei a doua cavităţi. Dacă curentul electronic este suficient de intens, energia acumulată în cea de-a doua cavitate este superioară celei cheltuite în prima, iar dispozitivul funcţionează ca un amplificator; principiul acesta fusese descris teoretic de fraţii A. şi O. Heil, în Germania, încă din 1935, în timp ce noţiunea de modulaţie de viteză a electronilor fusese studiată în 1930 de Moller şi în 1933 de A. Clavier.

Pentru a transforma clistronul amplificator în oscilator, trebuie, ca şi în cazul triodei, să i se introducă o „reacţie“, adică să se reintroducă în cavitatea de intrare o fracţiune suficientă din energia produsă în cavitatea de ieşire. Se poate astfel folosi şi o singură cavitate, prin care electronii trec de două ori, deoarece trebuie să se întoarcă din faţa unui electrod menţinut la un potenţial negativ faţă de catod: se obţine astfel clistronul-reflex, construit în Marea Britanie, în 1940, sub îndrumarea lui Sutton. Uşor de folosit, clistronul-reflex a devenit sursa cea mai curentă de puteri mici în domeniul microundelor.

TUBURILE CU UNDĂ PROGRESIVĂ. La sfîrşitul celui de-al doilea război mondial a apărut un alt dispozitiv care permite transformarea energiei cinetice a unui fascicul de electroni în energie electromagnetică. Acesta este tubul cu undă progresivă. Principiul său constă în obţinerea unui schimb continuu de energie între electroni şi un cîmp electromagnetic ce se deplasează sincron. Indicat în brevetele lui A. Haeff (1933) şi Clavier şi Rostas (1937), el a fost folosit începînd din 1942 de către R. Kompfner, care a realizat primul tub cu undă progresivă. Teoria lui a fost dată în 1947 de J. R. Pierce în S.U.A., şi, independent, de J. Bernier şi P. Lapostolle în Franţa.

Condiţia de sincronism era greu de obţinut. Într-adevăr, în aer, undele electromagnetice se propagă cu viteza luminii, iar în ghidurile cu pereţi netezi, viteza lor de fază este mai mare decît c; dimpotrivă, electronii, fiind particule materiale, au totdeauna o viteză mai mică decît c; în tuburile obişnuite ea este de ordinul lui $c/10$ pînă la $c/20$. Dificultatea a fost rezolvată în general prin ghidarea undelor după o linie elicoidală; de-a lungul acestei elici, viteza lor este apropiată de c, dar faţă de axă ea este mult mai mică. Cînd sincronismul se stabileşte, un electron poate fi frînat de un cîmp întîrzietor de-a lungul întregului său parcurs; acest electron cedează energie cinetică cîmpului. Este adevărat că există şi electroni acceleraţi. Dar procesele de accelerare şi de frînare conduc în cele din urmă la o grupare a electronilor în pachete, care se formează în regiuni în care sînt frînaţi de undă şi care, în medie, îşi recuperează astfel energia. Caracteristica esenţială a tubului cu undă progresivă este capacitatea sa de a amplifica undele pe o foarte mare bandă de frecvenţe.

Ca orice amplificator, tubul cu undă progresivă poate fi transformat în oscilator prin incorporarea unei „reacţii pozitive“, care se introduce de obicei printr-o metodă originală. Folosind o linie de-a lungul căreia viteza de grup — şi prin urmare sensul propagării energiei — este în sens invers vitezei de fază, se realizează un „oscilator cu undă inversă“; principiul a fost găsit în 1952 de R. Kompfner, dar francezul B. Epsztein construise deja un astfel de tub sub numele de „carcinotron“. Faptul, destul de uimitor *apriori*, că energia şi faza se propagă în sens invers, este caracteristic anumitor linii cu structură periodică; studiind mai general propagarea undelor în medii periodice (reţele cristaline, circuite periodice, filtre electrice), L. Brillouin a arătat că numeroase particularităţi se explică prin periodicitatea mediului şi sînt independente de natura undelor.

Implicit am presupus că electronii se deplasează într-un spaţiu echipotenţial din punct de vedere electrostatic. Totuşi, există o altă familie de tuburi în care, în absenţa oricărui cîmp de înaltă frecvenţă, electronii sînt ghidaţi de un cîmp electrostatic şi de un cîmp magnetic, perpendiculare între ele şi pe direcţia de mişcare a electronilor, astfel încît forţele electrice şi magnetice să se echilibreze. Sub acţiunea unui cîmp electromagnetic sincron, electronii îşi păstrează energia lor cinetică alunecînd spre regiuni cu potenţial electric mare: atunci energia potenţială a electronilor este transformată în energie electromagnetică şi se poate demonstra că acest mecanism are un foarte bun randament energetic. Familia „tuburilor cu cîmpuri încrucişate“, cuprinzînd amplificatoare cu undă progresivă şi carcinotroane, a fost studiată în special de colectivul francez al lui Guénard şi Doehler. Magnetronul, descoperit cu mult înainte, face, de asemenea parte din această familie.

MAGNETRONUL. Originea magnetronului este veche: ea se regăseşte în dioda realizată de Hull în 1921, în care curentul dintre un catod cilindric şi un anod coaxial era comandat de un cîmp magnetic reglabil, paralel cu axa. Sub acţiunea cîmpului magnetic, electronii urmează o traiectorie curbată în loc să se îndrepte în linie dreaptă spre anod. Dacă cîmpul este suficient de puternic, nici un electron nu atinge anodul şi se formează un nor electronic ce se roteşte în jurul catodului. În 1924, cehul A. Zarek a obţinut oscilaţii cu dioda lui Hull; Habann a descoperit un alt mod de oscilaţii într-un magnetron, al cărui anod era împărţit în două sectoare. Aceste metode au fost abandonate, folosindu-se actualmente „magnetronul cu undă progresivă“, al cărui principiu a fost explicat de K. Posthumus în 1935.

Anodul, prevăzut cu fante multiple, constituie o linie periodică închisă pe ea însăşi, capabilă să ghideze o undă electromagnetică în sincronism cu norul electronic ce se roteşte în jurul catodului. Acest tub şi-a găsit forma definitivă după introducerea unor cavităţi rezonante în fantele anodului, după ideea americanului A. Samuel (1936), exploatată de englezii Boot şi Randal în 1939 şi de ruşii N. Alekserev şi D. Malearov în 1940. Teoria magnetronului cu cavităţi multiple este foarte dificilă; ea a fost elaborată de L. Brillouin, O. Buneman, D. Hartree, J. Slater şi E. Stoner. Acest tub a devenit sursa obişnuită de puteri mari, în impulsuri scurte, şi este folosit în special la emiţătoarele radar.

INVENTAREA RADARULUI. Deşi inventarea radarului se leagă mai degrabă de istoria tehnicii, dezvoltarea sa este strîns legată de cea a microundelor, al căror studiu l-a stimulat.

Iniţial, ideea radarului (numit astfel după iniţialele expresiei engleze *radio detection and ranging)* nu a fost legată de utilizarea microundelor. Încă de la începutul secolului al XX-lea se găseşte formulat principiul detectării obiectelor cu ajutorul undelor hertziene, dar dezvoltarea tehnicii în acea epocă nu dădea nici o şansă de succes realizării acestei idei. Abia după 1928 au apărut emiţătoare suficient de puternice şi receptoare suficient de sensibile în gama undelor scurte şi tot în această perioadă se pot stabili începuturile detectării electromagnetice în Franţa, Anglia, Germania şi Statele Unite. În Franţa, de exemplu, P. David a propus utilizarea interferenţei între unda reflectată de un obiect în mişcare, de exemplu un avion, şi o undă transmisă direct la receptor. Unda reflectată, afectată de „efectul Doppler-Fizeau“, provoacă o interferenţă cu unda directă. Experienţele efectuate în cursul anilor ce au urmat, folosind unde decametrice întreţinute, au confirmat aceste idei şi au fost aplicate la realizarea unor „baraje electromagnetice“ franceze înainte de 1940.

Totuşi, metoda cea mai obişnuită în radar constă în observarea reflectării undelor foarte scurte emise în impulsuri, conform metodei folosite de Breit şi Tuve pentru sondajele ionosferei. Metoda a fost folosită în 1936 pe pachebotul francez Normandie, unde M. Ponte şi H. Gutton au montat un „detector de obstacole“, echipat cu un magnetron cu „cuşcă de veveriţă“, care reprezenta un precursor al magnetronului cu cavităţi. Această metodă a fost studiată în special în Marea Britanie, unde cercetările secrete efectuate încă din 1930 asupra detectării avioanelor, lucrări coordonate de Robert Watson-Watt, au permis crearea unui sistem de alarmă antiaeriană începînd din 1939; acest lanţ de veghe „radar“ a jucat un rol esenţial în bătălia Angliei din 1940.

Graţie directivităţii lor bune, undele centrimetrice permit o localizare mai precisă a obstacolelor. Folosirea acestor unde a asigurat superioritatea radarurilor aliaţilor faţă de echipamentele germane, care au folosit unde mai lungi, pînă în ultimele zile ale războiului. De aceea, le-a fost consacrat un efort considerabil, mai ales în S.U.A. Ne putem da seama de importanţa cercetărilor efectuate aici graţie celor 28 de volume ale lucrării de sinteză elaborate între 1942—48 de un colectiv de la *Massachussetts Institute of Technology*. Datorită puterii şi preciziei aparaturii de care dispuneau, specialiştii armatei americane au putut obţine în 1946 ecouri radar de pe Lună, ceea ce a reprezentat începuturile radar-astronomiei. La această dată, microundele cunoscuseră o strălucită carieră militară înainte de a permite folosirea aplicaţiilor lor civile: radar pentru navigaţia aeriană, fascicule hertziene, spectroscopie hertziană.

FASCICULELE HERTZIENE. Şi o altă aplicaţie tehnică importantă a microundelor s-a dezvoltat după ultimul război: transmisia prin fascicule hertziene a sute de canale telefonice, sau a mai multor canale de televiziune.

Legătura Calais-Dover, pe 17 cm, experimentată de Clavier în 1930, reprezintă una dintre primele încercări. Pentru a obţine o emisie directivă, este necesară o antenă ale cărei dimensiuni să fie de mai multe lungimi de undă. Pentru undele decametrice folosite în legăturile radiotelefonice intercontinentale, directivitatea este slabă chiar cu antene a căror suprafaţă este de ordinul de mărime al hectarului. Dimpotrivă, pentru undele centimetrice, această condiţie este uşor realizată cu antene de dimensiuni modeste: cornetele şi reflectoarele parabolice folosite deja de pionierii din secolul al XIX-lea sînt cele mai răspîndite. Se folosesc, de asemenea, lentile formate din reţele alternative de bare sau de plăci prevăzute cu orificii, care constituie dielectrici artificiali. În acest mod se obţin fascicule electromagnetice extrem de fine, care joacă rolul unor cabluri imateriale între staţiile releu. Datorită directivităţii lor, undele centimetrice au permis acoperirea continentelor cu relee hertziene dispuse la distanţe la care ele nu se mai pot vedea reciproc.

Undele decimetrice par a fi defavorizate, deoarece au o lungime de undă prea mare pentru a avea şi o bună directivitate şi au o frecvenţă prea înaltă pentru a fi reflectate de ionosferă. Din fericire, atmosfera terestră joacă un rol favorabil în propagarea lor. Încă din timpul războiului s-au observat distanţele anormal de mari ale unor emisii radar şi ele au fost atribuite formării de „conducte“ în atmosferă, în care undele s-ar reflecta între pături atmosferice cu indici de refracţie diferiţi. Alături de rezultatele încercărilor efectuate înainte şi după război, acest fapt arăta că un nou mecanism — propagarea troposferică, mai eficace decît difracţia în jurul Pămîntului — mărea distanţa emisiunilor de unde metrice şi decimetrice. În 1950, H. Booker şi W. Gordon, ca şi Megaw, au explicat acest tip de propagare prin difracţia undelor pe neregularităţile datorate turbulenţei atmosferei. Cîţiva ani mai tîrziu, francezii F. du Castel, Voge şi Misme au propus o teorie bazată pe reflexiile parţiale produse de adevărate pături atmosferice cu indici diferiţi, teorie care s-a dovedit mai apropiată de rezultatele măsurătorilor efectuate de ei în Franţa şi Africa. În aceste studii, s-a născut o nouă categorie de fascicule hertziene ce pot depăşi orizontul şi care sînt deosebit de adaptate necesităţilor ţărilor în curs de dezvoltare.

Succesul experienţelor de transmisie America-Franţa şi America-Anglia, prin reflectarea undelor pe satelitul artificial „Echo 1" din 1961, a deschis calea stabilirii unei reţele mondiale de telecomunicaţii prin sateliţi.

Echo 1 — un balon de 30 m diametru, din material plastic metalizat — reprezenta un reflector pasiv care trebuia să joace, pentru emisia microundelor, acelaşi rol pe care-l joacă atmosfera pentru undele decametrice. Experienţa a fost convingătoare, deşi semnalul primit era foarte slab; ea a fost reînnoită în 1963, într-o variantă perfecţionată.

Mult mai îndrăzneaţă şi mai spectaculoasă este experienţa Telstar, care a permis recepţionarea în Franţa, pentru prima dată la 11 iulie 1962, a unei emisiuni a televiziunii americane. A fost necesară plasarea la bordul unui satelit a unei adevărate staţii releu de fascicule hertziene, alimentate cu energie electrică cu ajutorul a 3600 baterii solare. Telstar, a cărei perioadă de revoluţie este de 157 minute, descrie o orbită eliptică cu apogeul la 5500 km şi perigeul la 900 km. Această traiectorie permite prezenţa a patru perioade zilnice de vizibilitate reciprocă între staţia americană Andover (Maine), pe de o parte, staţia franceză de la Pleumeur-Bodou (Bretagne) şi staţia engleză de la Goonhilly, pe de alta. Fiecare dintre aceste perioade durează între 15 şi 25 minute. Staţia franceză de la Pleumeur-Bodou, construită după modelul staţiei de la Andover, este echipată cu o antenă mare cu cornet şi reflector parabolic, protejată de un schelet metalic de 64 m diametru. Această antenă grea trebuie îndreptată spre satelit cu o precizie de 3/100 dintr-un grad, ceea ce face necesară folosirea unei maşini electronice de calcul pentru prepararea tabelelor direcţiilor de orientare. Aceste dispozitive au permis recepţionarea semnalelor de televiziune emise de staţia de la Andover încă de la primele treceri în vizibilitate reciprocă între Franţa şi Statele Unite. Succese analoage au fost obţinute apoi şi de specialiştii englezi.

Pe acest nou canal de transmisiune au fost efectuate măsurări care au fost continuate după decembrie 1962 cu ajutorul satelitului Relay. Un sistem de legături permanente transatlantice ar necesita prezenţa simultană pe orbită a 30—50 sateliţi.

Proiecte şi mai ambiţioase se pregătesc cu satelitul Syncom I, care va fi lansat în 1963. Deplasîndu-se în sensul rotaţiei Pămîntului cu o perioadă de 24 de ore, el va apărea aproape imobil pentru observatorii tereştri. „Sincronizarea" unui satelit, care nu este posibilă decît la altitudinea de 36 000 km, ar permite stabilirea unei legături permanente şi ar deservi o regiune foarte mare din suprafaţa Pămîntului. Se preconizează chiar utilizarea unui astfel de satelit pentru radiodifuzarea unor emisiuni sonore sau televizate care să poată fi recepţionate direct de către public.

Mai amintim şi succesul transmisiei treptate a unui mesaj păstrat într-o memorie din satelit (Score, 1958) şi proiectul american „Westford", care constă în dispunerea în jurul Pămîntului a unei centuri reflectante formată din mici ace de cupru lansate de un satelit şi care — grupate într-un inel de circa 30 km diametru — ar trebui să asigure difuzia undelor între două staţii terestre. O primă încercare realizată cu satelitul Midas IV, în octombrie 1961, a fost neconcludentă. După modificarea sistemului de lansare a acelor, a fost efectuată o nouă încercare (1963).

Succesele obţinute pînă acum dovedesc că am intrat în era telecomunicaţiilor prin sateliţi-relee, dar mai trebuie efectuate încă numeroase experienţe pentru a confrunta diferitele soluţii propuse şi a le alege pe cele optime.

E. OPTICA ELECTRONICĂ ŞI APLICAŢIILE SALE

Folosirea electronilor în vid nu a permis numai producerea, amplificarea, modularea şi detectarea undelor radioelectrice; numeroase domenii ale ştiinţei şi tehnicii au beneficiat din plin de aparate bazate pe utilizarea electronilor sub formă de fascicule fine, folosind metodele opticii electronice.

OSCILOSCOPUL CATODIC. Încă din 1896, F. Braun a sugerat folosirea devierii electrice şi magnetice a radiaţiilor catodice, pentru studiul curenţilor de înaltă frecvenţă. Aparatul său, în care electronii produşi de o sursă cu emisie secundară loveau peretele unui tub de sticlă pe care produceau o pată verde, era destul de rudimentar. Wehnelt l-a perfecţionat înlocuind sursa cu emisie secundară printr-un catod cald şi introducînd un electrod care permitea reglarea intensităţii fasciculului de electroni: el a realizat astfel primul „tun electronic". Cînd progresele amplificatoarelor şi oscilatoarelor au permis utilizarea mai completă a slabei inerţii a electronilor, osciloscopul catodic a constituit punctul de plecare pentru ingenioasele oscilografe galvanometrice puse la punct prin 1900 de A. Blondel pentru studiul fenomenelor rapide. Perfecţionate continuu, aceste aparate permit observarea unor unde sinusoidale cu frecvenţe de peste 50 MHz sau a unor impulsuri cu durate de miimi de microsecundă; s-au construit în laborator chiar osciloscoape pentru microunde pînă la 10 000 MHz (lungime de undă de 3 cm). Printr-o adaptare potrivită, tuburile catodice constituie elementele centrale ale receptoarelor de televiziune sau ale indicatoarelor radar.

ZWORÎKIN ŞI INVENTAREA TUBURILOR DE TELEVIZIUNE. În transmisia imaginilor la distanţă, electronul a jucat acelaşi rol ca şi în studiul fenomenelor rapide. Ideea transmisiei electrice a imaginilor este foarte veche: încă din 1851, inventatorii au propus aparate denumite „tele-autografe" pentru a transmite direct un mesaj scris.

Cînd au fost descoperite tubul cu radiaţii catodice şi celula fotoelectrică, s-a încercat utilizarea lor la transmiterea imaginilor. Utilizarea tubului catodic pentru a transforma, la recepţie, semnalul electric în imagine a fost propusă de Boris Rosing în 1907. Problema inversă este mai dificilă: o celulă fotoelectrică pe care s-ar proiecta ansamblul imaginii nu ar furniza decît un curent continuu, dependent de iluminarea medie. Era deci necesară analizarea imaginii punct cu punct; acest lucru a fost realizat prin plasarea în faţa celulei a unui analizor mecanic, discul lui Nipkow.

Încă din 1908, A. Campbell şi A. Swinton au propus însă un dispozitiv de explorare a imaginii cu un fascicul de electroni. Ideea nu a fost realizată într-un mod satisfăcător decît în 1933, în iconoscopul lui V.K. Zworîkin.

Zworîkin a început studiul unei metode de televiziune electronică în 1910, sub conducerea lui B. Rosing, la Institutul de Tehnologie de la Petersburg (azi Leningrad). Sosit în S.U.A. în 1919, el a prezentat în 1923 un dispozitiv de televiziune în întregime electronic. După 1930, el a pus la punct, în laboratoarele firmei R.C.A., iconoscopul, pe care l-a prezentat în 1933. Cercetările efectuate în Marea Britanie de Societatea E.M.I. au condus în anii următori la realizarea unui tub de luat vederi bazat pe un principiu de funcţionare puţin diferit: emitronul. Într-un astfel de tub, imaginea este proiectată pe un „mozaic“ format din sute de mii de granule izolate unele de celelalte şi formînd astfel tot atîtea celule elementare. Un fascicul electronic explorează succesiv fiecare punct al mozaicului, furnizînd cîte un semnal electric, folosit apoi la transmiterea imaginii. Emisia secundară a mozaicului iconoscopului constituia însă un inconvenient: pentru a-l depăşi, M. Rose şi M. Iams au pus la punct, în 1933, orticonul, în care baleiajul este realizat cu electroni lenţi.

V.K. Zworîkin s-a gîndit şi la un mijloc de a mări distanţa vederii omeneşti; în 1934 el a definit iconoscopul drept „o versiune modernă a ochiului electric“ şi a propus instalarea unui aparat de luat vederi pe o rachetă pentru a explora regiunile inaccesibile. Printr-o metodă analoagă, savanţii sovietici au reuşit, în 1961, să fotografieze faţa invizibilă a Lunii. Această aplicaţie, ca şi retransmisia operaţiilor chirurgicale, scoate în evidenţă importanţa televiziunii ca mijloc de cercetare ştiinţifică.

FOTOMULTIPLICATOARELE ŞI AMPLIFICATOARELE DE STRĂLUCIRE. Funcţionarea celulelor multiplicatoare de electroni se bazează pe proprietatea anumitor substanţe de a emite mai mulţi electroni secundari sub acţiunea unui singur electron primar, accelerat la cîteva sute de volţi. Dacă electronii astfel obţinuţi sînt îndreptaţi spre o nouă ţintă cu emisie secundară, se obţine o nouă multiplicare. Realizarea unei celule cu mai multe etaje necesită o ghidare foarte precisă a electronilor de la o ţintă la următoarea; acest lucru a fost realizat de Zworîkin, H. Morton şi L. Malter cu ajutorul unor cîmpuri electrice şi magnetice încrucişate într-un tub pe care l-au descris în 1936. În 1939, Zworîkin şi J. Rajchman au prezentat un „multiplicator electrostatic de electroni“, care permitea amplificarea curentului emis de un fotocatod. Actualmente, se pot multiplica astfel, de peste zece milioane de ori, curenţii obţinuţi prin efect fotoelectric, ceea ce a permis realizarea cu ajutorul acestor fotomultiplicatoare a unor detectoare de lumină foarte sensibile.

Semnalul care iese din aceste fotomultiplicatoare este un semnal electric. Amplificatoarele de strălucire, dimpotrivă, primesc lumină şi furnizează o imagine luminoasă. În primul tub, realizat de H. Holst în 1934, imaginea luminoasă se formează pe un fotocatod; electronii emişi cad pe un ecran fluorescent după ce au fost acceleraţi electrostatic; în aceste condiţii, ei produc o imagine luminoasă mult mai strălucitoare decît imaginea iniţială. Zworîkin, Morton şi E. Ramberg au perfecţionat în mod considerabil, în 1936, acest dispozitiv, prevăzîndu-l cu o adevărată „optică electronică“, care permite producerea pe ecran a imaginii fiecărui punct al fotocatodului. Dispozitive analoage, introduse în interiorul tuburilor (camerelor) de luat vederi ale televiziunii, au permis transformarea iconoscopului şi a orticonului în tuburi mult mai sensibile: supericonoscopul (iconoscop-imagine) şi superorticonul (orticon-imagine).

Amplificatoarele de strălucire au cunoscut o mare dezvoltare sub formă de „convertizoare“ pentru domeniul infraroşu, transformînd imaginile produse de radiaţiile infraroşii în imagini vizibile. Acestea permit astfel detectarea obiectelor ce emit radiaţii infraroşii şi observarea, în timpul nopţii sau pe ceaţă, a obiectelor „iluminate" cu un proiector de radiaţii infraroşii. Pe lîngă aplicaţiile lor militare, amplificatoarele de strălucire mai sînt folosite, din 1950, pentru studiul imaginilor radioscopice.

În sfîrşit, tot amplificator de strălucire poate fi considerat şi „telescopul electronic" (p. 524). În acest aparat, imaginea finală nu se obţine însă pe un ecran fluorescent: electronii emişi prin efect fotoelectric impresionează o placă fotografică specială, după o metodă de fotografiere electronică pusă la punct de A. Lallemand încă din 1936. Perfecţionat încontinuu, acest dispozitiv reprezintă un detector aproape ideal de fotoni; ataşat unor instrumente de observare astronomică, ca telescoape, lunete sau spectrografe, el permite realizarea unui cîştig de ordinul a o sută faţă de metodele fotografice clasice.

TUBURILE DE MEMORIE. Tuburile precedente fac parte din marea familie a tuburilor de imagini: unele primesc o imagine luminoasă şi furnizează o imagine luminoasă amplificată, ca în amplificatoarele de strălucire, iar altele, cum sînt tuburile osciloscoapelor, traduc un semnal electric într-o imagine luminoasă; şi, în sfîrşit, altele transformă o imagine luminoasă într-un semnal electric, ca în cazul tuburilor de luat vederi din televiziune. Într-un al patrulea tip de tuburi, se primeşte un semnal electric şi se furnizează un alt semnal electric: în acest caz imaginea nu există decît sub forma unuei distribuţii de sarcini electrice pe un ecran.

Aceste tuburi sînt interesante în cazul în care ecranul este dotat cu o memorie, care-i permite să păstreze un anumit timp semnalul electric primit. Pentru aceasta, ecranul este format dintr-un mare număr de celule elementare de forma mozaicului iconoscopului; fiecare celulă formează un condensator elementar, a cărui sarcină este funcţie de semnalul electric ce trebuie păstrat în memorie. Astfel de tuburi, propuse şi realizate în 1947 de A. Haeff, pe de o parte, şi de A. Jensen, J. Smith, M. Mesner şi L. Flory, pe de alta, sînt capabile de aplicaţii interesante la maşinile electronice de calcul. Şi în tuburile osciloscoapelor sau ale receptoarelor radar s-au introdus memorii electrostatice. Iconoscopul conţine, chiar în schema sa de principiu, o memorie: aceasta îi oferă o mai mare sensibilitate decît un alt tub de luat vederi inventat de P. Farnsworth în 1934.

DEZVOLTAREA OPTICII ELECTRONICE. La amplificatoarele de strălucire am folosit expresia „optică electronică" pentru a reprezenta un dispozitiv care permite „focalizarea" într-un punct al unui ecarn, a electronilor emişi de un acelaşi punct al catodului şi de a realiza astfel o corespondenţă între o imagine şi un obiect, ca şi în optica luminoasă. Traiectoriile electronice pot fi obţinute cu ajutorul ecuaţiilor mecanicii clasice, aplicată electronilor de către J.J. Thomson încă din 1881. Analogia dintre dinamica punctului material şi optica geometrică, remarcată de Hamilton în 1827, este deosebit de clară în cazul mişcării electronilor într-un cîmp electrostatic, în care potenţialul electric este analog cu pătratul indicelui de refracţie. Această analogie, care a jucat un rol esenţial în apariţia mecanicii ondulatorii a lui L. de Broglie, a servit drept ghid la realizarea cu ajutorul electronilor a unor experienţe asemănătoare cu cele din optica clasică.

Primul studiu asupra lentilelor electronice este cel al lui H. Busch, care a arătat, în 1926—27, că acţiunea unui cîmp magnetic de revoluţie asupra traiectoriilor electronilor este asemănătoare celei a unei lentile de sticlă asupra radiaţiilor luminoase. În 1931—32, Davisson şi Calbick, pe de o parte, Bruche şi Johannson, pe de alta, au arătat că se pot realiza lentile electronice şi cu ajutorul cîmpurilor electrostatice. Aceste cercetări au reprezentat punctul de plecare al realizării a două tipuri de lentile electronice folosite în particular în microscoapele electronice. Cercetările ulterioare au fost îndreptate asupra punerii la punct a unor diferite scheme şi asupra problemelor ridicate de unele defecte ale imaginii analoage celor întîlnite la instrumentele optice clasice.

Studiul lentilelor electronice necesită cunoaşterea riguroasă a distribuţiilor cîmpurilor electrice şi magnetice. Aceasta pune problema rezolvării ecuaţiei lui Laplace, al cărei studiu, început în secolul al XIX-lea, a fost continuat în secolul al XX-lea, cînd a beneficiat de metode noi. În particular, trebuie subliniată importanţa pe care o are în optica electronică metoda analogiei electrice, a cărei idee poate fi regăsită într-o lucrare a lui Kirchhoff din 1845: folosirea cuvei reografice — care a fost aplicată la rezolvarea unor probleme de cîmpuri magnetice şi electrostatice de către Smoot în 1905 şi care s-a dezvoltat în special în Franţa după 1931, sub impulsul lucrărilor lui J. Perès şi L. Malavard — şi folosirea analogiilor cu reţelele de rezistenţe de către Liebmann, în 1950.

Una dintre aplicaţiile importante ale acestor metode de optică electronică o constituie studiul tunurilor electronice pentru tuburile de microunde, pentru clistroane şi pentru tuburi cu unde progresive. Problema constă, în esenţă, în concentrarea unui fascicul electronic foarte dens şi în cerinţa impusă acestuia de a păstra, pe un parcurs lung, forma dorită, de exemplu cilindrică. Numeroşi autori şi-au adus contribuţia la „focalizarea fasciculelor electronice"; una dintre cele mai importante contribuţii este cea a lui J.R. Pierce, care a publicat în 1949 o lucrare fundamentală în acest domeniu. Trebuie subliniată importanţa practică a acestei probleme: numeroase progrese realizate în producerea şi amplificarea microundelor sînt legate de progresele obţinute în optica electronică.

MICROSCOPUL ELECTRONIC. Instrumentul în care analogia cu optica clasică este cea mai izbitoare este microscopul electronic. Cercetările lui L. de Broglie au condus la atribuirea, undelor asociate electronilor, a unei lungimi de undă care depinde de viteza lor, după legea $\lambda = h/mv$ (h, constanta lui Planck; m, masa electronilor; v, viteza electronilor); pentru tensiuni de accelerare de cîteva zeci de mii de volţi, această lungime de undă este de acelaşi ordin de mărime ca cea a radiaţiilor X, adică de aproximativ o sută de mii de ori mai mică decît a luminii vizibile. De aici rezultă că puterea separatoare a microscopului electronic este mult superioară celei a microscopului optic (vezi p. 209).

În 1931, M. Knoll şi E. Ruska au folosit o lentilă magnetică pentru a obţine imagini electronice mărite; în 1934, E. Bruche şi colaboratorii săi au obţinut rezultate analoage folosind lentile electrostatice. Primul model de microscop electronic utilizabil practic a fost descris de Knoll şi Ruska în 1932. De atunci, numeroase laboratoare, industriale sau universitare, au adus perfecţionări în calculul şi construirea acestor aparate şi în folosirea lor. Printre cercetătorii care au contribuit la aceste lucrări, cităm la întîmplare pe W. Glaser, O. Klemperer,

D. Gabor, V. Cosslett, iar în Franţa pe G. Dupouy, P. Grivet, F. Bertein şi C. Fert.

Încă din 1934, L. Marton a început să pună la punct metode de studiu al bacteriilor şi ţesuturilor organice la microscopul electronic. În 1939, G. Kausche, E. Pfankuch şi E. Ruska l-au folosit la studiul virusurilor, iar în 1940, M. von Ardenne a putut obţine micrografii ale unor molecule mari izolate, cum sînt cele ale hemoglobinei. În 1941, R. Mehl a folosit microscopul electronic la studiul problemelor de duritate a oţelurilor, obţinînd fotografii care arătau scructura perlit-ului. Aceste cercetări reprezintă începuturile utilizării microscopului electronic în biologie, în chimia macromoleculelor şi în metalurgie, adică în principalele domenii în care acesta a devenit un instrument indispensabil de cercetare.

DIFRACŢIA ELECTRONILOR ŞI OPTICA ELECTRONICĂ FIZICĂ. Prima verificare a teoriei lui L. de Broglie asupra naturii ondulatorii a electronului a constituit-o descoperirea experimentală a difracţiei electronilor pe cristale. În 1927, C. Davisson şi L. Germer au pus în evidenţă acest fenomen în Statele Unite, studiind difracţia electronilor lenţi pe un cristal de nichel. În 1929, G.P. Thomson, în Anglia, a obţinut direct diagrame de difracţie asemănătoare celor ale radiaţiilor X, trecînd un fascicul de electroni rapizi printr-un strat policristalin subţire.

Difracţia electronilor este utilizată actualmente, alături de cea a radiaţiilor X, în laboratoarele de fizica solidului. După 1949, R. Castaing şi A. Guinier au pus la punct un aparat în care o sondă electronică, formată dintr-un fascicul extrem de fin de electroni, explorează un volum de ordinul micronului cub de la suprafaţa unui cristal; analiza chimică şi cristalografică a acestui volum mic se obţine prin studiul difracţiei electronilor şi a radiaţiilor X produse.

Difracţia electronilor reprezintă primul domeniu de aplicare a ceea ce se poate numi optica electronică fizică, spre deosebire de studiul tunurilor şi lentilelor electronice, care reprezintă optica electronică geometrică. Această difracţie a fost studiată mai ales în vederea folosirii ei în fizica corpului solid, dar pînă în ultimii ani au fost efectuate doar puţine cercetări în vederea realizării altor experienţe de optică electronică fizică. Totuşi, H. Boersch a obţinut în 1940 primele franje Fresnel la marginea unui ecran cu ajutorul unui fascicul de electroni. Mai mulţi cercetători au observat recent fenomene de interferenţă, iar în 1952, L. Marton a arătat avantajele ce se pot obţine prin interferometrie electronică. Echivalentul electronic al biprismei lui Fresnel a fost realizat de G. Möllenstedt şi H. Dücker, în 1954. Laboratorul de optică electronică de la Toulouse (Franţa), de sub direcţia lui G. Dupouy şi C. Fert, a efectuat studii sistematice de optică electronică fizică, realizînd, printre altele, experienţa cu orificiile lui Young, clasică în optica luminoasă, şi cu biprisma lui Fresnel. Este suficient să ne gîndim la rolul metodelor opticii fizice în microscopia luminoasă (microscopul interferenţial şi microscopul cu contrast de fază) pentru a ne imagina ce pot aduce aceste experienţe în microscopia electronică.

APLICAŢIILE OPTICII ELECTRONICE ÎN FIZICA NUCLEARĂ. Şi fizica nucleară foloseşte anumite aparate bazate pe optica electronică. Cele mai spectaculoase sînt acceleratoarele de particule (ciclotroanele, betatroanele, sincrotroanele, acceleratoarele liniare; vezi p. 356—357, 363—365). Realizarea lor ridică două probleme de optică electronică: producerea fasciculului de particule şi injectarea sa în acceleratoare; apoi ghidarea acestor particule în camera de accelerare. În această cameră, energia electromagnetică a unui cîmp de înaltă frecvenţă este transformată în energie cinetică a electronilor sau ionilor: acesta este fenomenul invers celui care apare în tuburile de microunde şi arată înrudirea acceleratorului linear cu tubul cu undă progresivă.

Spectrografele reprezintă un alt tip de aparate care folosesc optica electronică. Există două tipuri: spectrografele de masă, care permit separarea ionilor de mase diferite, şi spectrografele de viteză. Aston a realizat primul spectrograf de masă prin perfecţionarea dispozitivului folosit de J.J. Thomson la măsurarea raportului dintre sarcina şi masa electronilor şi ionilor. Unul dintre primele spectrometre de viteză, cel pentru radiaţiile β, a fost realizat de C. Ellis în 1921 şi folosit la studiul spectrului de viteze al acestor radiaţii. Spectrograful de masă este folosit în mod curent în fizica nucleară şi în analiza chimică a gazelor. El completează în mod fericit arsenalul de instrumente pe care optica electronică îl pune la dispoziţia experimentatorilor care studiază domenii dintre cele mai diferite.

F. DE LA PLASMĂ LA DIELECTRICI

În timp ce erau exploatate proprietăţile electronilor în vid, teoria electronilor din materie cunoştea noi progrese. Deşi diferitele medii electrice, gazele ionizate, electroliţii, dielectricii, conductorii solizi, au fost studiaţi simultan, îi vom aborda, pentru claritatea expunerii, succesiv.

TEORIA GAZELOR IONIZATE. Efortul considerabil efectuat în jurul anului 1900 pentru explorarea ansamblului de fenomene ce se produc în gazele ionizate a lăsat multe puncte nelămurite. În cursul deceniilor următoare, cercetările au fost continuate în vederea unei mai corecte înţelegeri a „proceselor fundamentale ale electronicii gazoase“ (titlul unei lucrări a lui L.B. Loeb), ca ionizarea, recombinarea, difuzarea ionilor, interacţia ionilor, a electronilor şi a moleculelor între ele şi cu pereţii solizi înconjurători. Astfel, teoria recombinării ionilor pozitivi şi negativi, elaborată de Langevin în 1903, este în bun acord cu experienţa în cazul descărcărilor la presiuni înalte, dar nu şi în cazul presiunilor scăzute. Această teorie, ale cărei limitări au fost stabilite de Townsend, a fost completată în 1924 de J.J. Thomson, care a arătat rolul agitaţiei termice a particulelor ca factor inhibitor al recombinării. Formarea ionilor negativi, prin ataşarea unui electron la o moleculă, a fost studiat de Loeb în cursul anilor de după 1920. Vom mai cita şi importanţa fenomenelor de multiplicare, în cazul ionizării prin ciocniri: Townsend a arătat că ciocnirea unui electron cu o moleculă poate duce la extragerea altui electron din aceasta, care la rîndul lui poate ioniza o altă moleculă ş.a.m.d. Combinat cu fenomenele de extragere a electronilor din metalele ce formează electrozii, acest mecanism explică faptul că descărcarea se poate menţine şi după suprimarea agentului ionizant care a iniţiat-o: ea devine în acest caz autonomă. Complexitatea fenomenelor fundamentale ce apar într-o descărcare în gaze a condus la obligaţia de a folosi un model simplificat pentru construirea unei teorii a gazelor ionizate. Noţiunea de *plasmă*, introdusă de Langmuir, a furnizat o bază pentru fundamentarea acestei teorii.

Primele publicaţii ale lui Langmuir asupra descărcărilor în gaze datează din 1923. Ele se referă la curentul cules de un electrod auxiliar plasat în descărcare. În 1924—26, ele au fost urmate de studii amănunţite ale funcţionării acestor electrozi, în cazul în care potenţialul lor era variat. Langmuir şi H. Mott-Smith au arătat că din caracteristicile curent-potenţial ale acestor electrozi auxiliari, denumiţi de atunci „sondele lui Langmuir", se pot obţine densitatea electronilor şi a ionilor în descărcare şi distribuţia vitezelor lor; măsurătorile au confirmat în general ipoteza unei distribuţii maxwelliene a vitezelor, şi au permis definirea temperaturilor electronilor şi ale ionilor. Deşi teoria lor şi funcţionarea lor prezintă încă dificultăţi, sondele lui Langmuir reprezintă un mijloc important de studiu experimental al gazelor ionizate.

În 1932, Langmuir a publicat un studiu de sinteză asupra „descărcărilor electrice în gaze la presiuni scăzute". El foloseşte denumirea de „plasmă", care cunoaşte astăzi o vogă deosebită. Langmuir deosebea două tipuri de regiuni la descărcări: unele, denumite „plasme", sînt caracterizate de o neutralitate electrică medie, în care sarcinile ionilor neutralizează pe cele ale electronilor; celelalte, în care este important cîmpul electric, formează „teci" în jurul electrozilor. Această deosebire fundamentală a adus multă claritate în teoria gazelor ionizate.

Într-o serie de articole publicate cu L. Tonks în 1928—29, Langmuir a studiat oscilaţiile care apar într-un gaz ionizat. Plasma reacţionează oarecum ca un mediu elastic, în care rezultanta forţelor electrice produse de particulele încărcate se traduce printr-o forţă de atracţie. Prin urmare, plasma posedă o frecvenţă proprie de oscilaţie, „frecvenţa plasmei", care caracterizează comportarea colectivă a electronilor şi a ionilor; valoarea sa este $F_P = 9000\sqrt{n}$ (F_P în hertzi; n, numărul de electroni pe cm³).

Activitatea ştiinţifică a lui Irving Langmuir rămîne strîns legată de aplicaţiile practice. Am văzut care a fost rolul său în transformarea audionului lui Lee de Forest într-un adevărat tub cu vid. Langmuir şi Hull, care au realizat primul magnetron, au introdus intenţionat gaz într-un tub pentru a studia „controlul unei descărcări cu ajutorul unei grile": ei au furnizat astfel teoria completă a unui nou tub, tiratronul, în 1929. În studiul problemelor pe care i le punea tehnica, Langmuir dădea dovadă de spiritul ştiinţific cel mai riguros şi aceasta a constituit una dintre cauzele pentru care el a fost primul cercetător american din cadrul unui laborator industrial care a primit premiul Nobel (1932).

Se pare că Langmuir a fost atras de studiul descărcării în gaz în cursul cercetărilor sale asupra redresoarelor cu arc în vapori de mercur. Cu această ocazie, el a constatat complexitatea unor fenomene ca distribuţia sarcinilor şi a potenţialului electric în jurul unui electrod introdus într-un gaz ionizat. Deşi sondele erau folosite de mult timp la măsurarea distribuţiei potenţialului de-a lungul unei descărcări, mecanismul lor de funcţionare nu era încă bine cunoscut. Prima observaţie, efectuată de Langmuir în 1923 asupra sondelor, este foarte importantă: el a constatat că curentul captat de un electrod auxiliar este practic independent de potenţialul ce i se aplică, cu condiţia să fie suficient de negativ. Langmuir a explicat acest fapt remarcînd că un astfel de electrod respinge puternic electronii plasmei, înconjurîndu-se astfel de o „teacă" ce nu conţine decît ioni pozitivi şi molecule neutre. Toţi ionii pozitivi care ajung la această „teacă" prin difuzie sînt captaţi de electrod. Cînd acesta este mai negativ, grosimea tecii creşte, dar nu şi curentul captat, care este determinat de densitatea ionilor şi de viteza lor medie de agitaţie termică. Fenomene analoage se produc şi cînd electrodul este prea pozitiv. Formarea „tecilor" în jurul electrozilor ce se găsesc într-un gaz ionizat este foarte răspîndită: ea izolează electrozii plasmei făcînd foarte dificil controlul curentului unei descărcări cu ajutorul unei grile.

Studiul captării curentului de către o sondă arată că, în cazul descărcărilor gazoase variaţiile mari de potenţial au loc în vecinătatea electrozilor. O parte a descărcării, coloana pozitivă observată de Faraday, tinde să rămînă, în medie, neutră. Prin efectul combinat al agitaţiei termice şi al interacţiilor electrostatice, sarcinile pozitive şi cele negative se menţin în număr egal într-un volum mic; această proprietate defineşte ceea ce Langmuir numeşte o „plasmă". Teoria oscilaţiilor plasmei, descoperite de F. Penning în 1926, clarifică această noţiune. Dacă neutralitatea mijlocie a mediului este distrusă prin deplasarea unei părţi din electroni, aceştia sînt atraşi spre zona mai puţin bogată în electroni printr-o forţă proporţională cu distanţa. În acest caz, apar oscilaţii cu o frecvenţă care nu depinde decît de densitatea medie a electronilor din plasmă. Tonks şi Langmuir au studiat, de asemenea, oscilaţiile ionice ale plasmei şi au arătat legătura lor cu undele acustice din mediile gazoase.

O altă mărime care joacă un rol important în studiul proprietăţilor plasmei este „lungimea Debye", folosită de acesta în teoria electroliţilor cu cîţiva ani mai devreme.

ELECTROLIŢII. Legătura dintre mecanismul de conducţie al electricităţii în gazele ionizate şi în electroliţi nu a trecut neobservată savanţilor din secolul al XIX-lea. Introducerea noţiunii de mobilitate (viteza ionilor într-un cîmp electric unitar) în gazele ionizate a fost inspirată de lucrările lui Hittorf asupra electroliţilor (1863), iar studiul difuziei ionilor gazelor reia un raţionament al lui Nernst asupra ionilor electrolitici. O diferenţă esenţială între proprietăţile electrice ale acestor două medii provine totuşi din faptul că electronii, care sînt principalii purtători ai curentului în gazele ionizate, nu există în stare liberă în soluţiile electrolitice, în care curentul este transportat de ioni. Proprietăţile chimice ale acestora, îndeosebi afinitatea lor, joacă un rol important, astfel că electrochimia, deşi se referă atît la electricitate cît şi la chimie, formează un ansamblu nedisociabil. Reacţiile dintre ionii şi moleculele solventului joacă un rol esenţial: astfel, legea lui Stokes pentru curgerile vîscoase, folosită la calculul mobilităţii ionilor după cercetările lui Einstein (1905) asupra mişcării browniene, permite determinarea razei de grupare a ionilor în soluţie; comparînd-o cu raza obţinută din studiul cristalelor cu radiaţii X, s-a putut dovedi că în soluţiile apoase majoritatea cationilor sînt „hidrataţi", adică fixaţi pe una sau mai multe molecule de apă.

În cazul electroliţilor, originea ionilor este cu totul diferită de cea a ionilor gazelor. Un gaz nu conţine, practic, decît molecule neutre în absenţa unui agent ionizant sau a unei diferenţe de potenţial care să provoace o descărcare. Dimpotrivă, conform ideilor lui Arrhenius (1887), care formează şi azi baza teoriei electroliţilor, ionii apar în mod spontan într-o soluţie electrolitică. Această teorie a disocierii electrolitice a fost foarte mult controversată, deoarece nu era clar de ce molecula de clorură de sodiu, de exemplu, nedisociată în starea de vapori, se disociază în soluţie; J. J. Thomson, şi apoi Nernst, au explicat acest fenomen atribuindu-l unei scăderi a forţelor electrostatice dintre atomi, datorită constantei dielectrice a solventului; deşi această explicaţie a fost precizată printr-un calcul de termodinamică statistică (Fowler, 1939), ea trebuie să fie revizuită în lumina teoriilor moderne asupra forţelor interatomice.

După teoria lui Arrhenius, coeficientul de disociere poate fi dedus din măsurarea conductibilităţii. Pe de altă parte, legea acţiunii maselor la echilibru termodinamic, aplicată fenomenului de disociere a moleculelor şi de recombinare a ionilor, stabileşte o relaţie între coeficientul de disociere şi concentraţia electrolitului: $\alpha^2 C / (1 - \alpha) =$ const. (α, coeficientul de disociere; C, concentraţia). Această relaţie se verifică bine în cazul soluţiilor de electroliţi slabi, cei care, ca acidul acetic, furnizează apei o slabă conductibilitate. Celelalte cazuri introduc dificultăţi care se găsesc la baza evoluţiei ideilor în electrochimia secolului al XX-lea.

Anomaliile cele mai pronunţate apar în electroliţii tari, care furnizează apei o conductibilitate foarte mare, chiar în soluţii diluate, ca acidul clorhidric sau clorura de sodiu. Ele se referă atît la legătura dintre concentraţie şi coeficientul de disociere, cît şi la legile ce guvernează presiunea osmotică a soluţiilor şi, mai ales, absorbţia luminii. Prin măsurări ale absorbţiei luminii într-o soluţie de azotat de crom, Bjerrum a arătat, în 1909, că această sare este complet disociată în apă.

Teoria electroliţilor tari, elaborată de Debye şi Hückel în 1923, se bazează pe ipoteza disocierii complete a acestora. Ea conferă un rol esenţial interacţiilor electrostatice, luate deja în considerare de Milner, în 1912. Debye a remarcat că un ion pozitiv atrage ionii negativi şi respinge ceilalţi ioni pozitivi; mişcarea browniană a ionilor tinde, dimpotrivă, să-i răspîndească la întîmplare. Cele două mecanisme antagoniste, de atracţie electrostatică şi de agitaţie termică, conduc la formarea în jurul unui ion pozitiv a unei atmosfere ionice negative; mediul trebuie să rămînă evident neutru în medie, dar se poate demonstra că totul se întîmplă ca şi cînd o sarcină egală şi de semn contrar ar fi uniform distribuită în jurul ionului central, pe o sferă a cărei rază se numeşte „lungime Debye". Ca şi în teoria electroliţilor, noţiunea de lungime Debye este esenţială în teoria plasmei gazelor ionizate: ea reprezintă ordinul de mărime al distanţei pînă la care ne putem depărta de la neutralitatea electrică, ţinînd seamă de agitaţia termică a particulelor electrizate.

Teoria lui Debye şi Hückel permite explicarea conductibilităţii electroliţilor prin deformarea norului ionic în cursul deplasării ionilor. Acest nor nu apare instantaneu și se poate defini un „timp de relaxare“ pentru apariţia şi dispariţia stării de echilibru a unui ion central, înconjurat de norul său; calculul a fost efectuat de Debye şi Falkenhagen în 1928. Cînd ionul central se deplasează sub acţiunea unui cîmp electric, norul se acumulează înainte şi dispare în regiunea din urmă. Acest fenomen nefiind instantaneu, apare un mic surplus de sarcini de acelaşi semn înaintea ionului central şi un mic surplus de sarcini de semn contrar în urmă. Aceste surplusuri de sarcină au tendinţa să frîneze mişcarea ionului. O a doua cauză de frînare este legată de electroforeză: mişcarea sarcinilor norului sub acţiunea cîmpului electric antrenează solventul în sens invers faţă de ionul central. Studiind aceste mecanisme de frînare, se obţine o lege a variaţiei conductibilităţii cu concentraţia în acord destul de bun cu experienţa, cel puţin în soluţiile de concentraţii mici. Cu aceleaşi limitări, bazîndu-se pe teoria lui Debye şi Hückel, Falkenhagen şi E. Darmois au explicat variaţiile viscozităţii soluţiilor electrolitice cu concentraţia.

Teoria lui Debye şi Hückel se aplică nesatisfăcător la soluţiile concentrate, în ciuda perfecţionărilor ce i s-au adus pentru a ţine seamă de gruparea ionilor. O teorie expusă de Bjerrum în 1926 şi completată de Onsager, dă rezultate interesante. Bjerrum introduce destul de arbitrar o rază critică, legată de lungimea Debye. Dacă se consideră o sferă de rază critică, centrată pe un ion pozitiv, de exemplu, se poate arăta că doar două posibilităţi au o probabilitate neneglijabilă de a se produce: sau nu mai există nici un alt ion în această sferă, sau există un ion negativ; în ultimul caz, cei doi ioni formează o „asociaţie“, a cărei acţiune electrostatică la distanţă este practic nulă. Proporţia de ioni liberi şi de asociaţii poate fi determinată prin legea acţiunii maselor şi prin termodinamica statistică. Studiul poate fi continuat prin folosirea teoriei lui Debye şi Hückel doar la ionii liberi, dar nu şi la asociaţii. În 1934, Fuoss a confirmat teoria lui Bjerrum arătînd că raza critică poate fi modificată în limite suficient de largi, fără a influenţa prea mult rezultatul, şi că această teorie este mai satisfăcătoare decît cea a lui Debye, din punctul de vedere al mecanicii statistice. Asociaţiile lui Bjerrum par să ofere o bază serioasă pentru studiul soluţiilor electrolitice concentrate.

Fenomenele amintite mai sus se referă la porţiunea depărtată de electrozi a soluţiei electrolitice, care se comportă ca un conductor ohmic. Electrozii joacă totuşi un rol esenţial, deoarece curentul electric este transportat de ioni în interiorul electrolitului, în timp ce în circuitul metalic exterior, el provine din mişcările electronilor: în vecinătatea electrozilor se produc reacţii între electroni şi ioni, considerate de teoriile chimice moderne fie ca o oxidare (pierderea unui electron de către ion), fie ca o reducere (primirea unui electron de către ion). Continuînd teoria termodinamică a contactului electrod-electrolit, stabilită de Gibbs şi Helmholtz, Nernst a stabilit, în 1899, relaţia dintre diferenţa de potenţial de contact şi presiunea osmotică a ionilor din soluţie. Atribuind prin definiţie potenţialul zero unui „electrod normal de hidrogen“, care serveşte ca element de referinţă, fiecare tip de electrod, sau mai degrabă fiecare sistem oxido-reducător, poate fi caracterizat printr-un potenţial. Nernst admitea faptul că presiunea osmotică este proporţională cu concentraţia ionilor în soluţie. Din nefericire, în numeroase cazuri valorile experimentale ale acestui potenţial ar corespunde, după teoria lui Nernst, unui coeficient de disociere mult mai mare decît unitatea în cazul unor concentraţii ridicate. Pentru a evita acest rezultat absurd, a trebuit să se admită că presiunea osmotică nu este dată de concentraţia ionilor, ci de o nouă mărime, şi anume de activitatea lor (vezi p. 297). Această noţiune, care ţine seamă de energia electrică de interacţie a ionilor, este explicată de teoria lui Debye şi Hückel; ea conduce la concluzii care sînt bine confirmate de experienţă, în privinţa solubilităţii sărurilor puţin solubile şi a presiunii osmotice.

Teoria electroliţilor, căreia i-am subliniat mai sus aspectele fizice, nu a rămas străină de evoluţia ideilor din chimie: am mai semnalat fenomenele de oxido-reducere; mai cităm şi noile noţiuni privind acizii şi bazele, propuse de Brønsted şi Lowry în 1923 (vezi p. 406). În acest domeniu, ca şi în cel al dielectricilor, al metalelor şi al gazelor ionizate, proprietăţile electrice sînt inseparabile de celelalte proprietăţi ale materiei. În sfîrşit, teoriile moderne acordă ionilor un rol esenţial în conductibilitatea electrică a electroliţilor topiţi, a soluţiilor coloidale, a răşinilor schimbătoare de ioni şi chiar a izolatorilor, în care conductibilitatea deosebit de mică — studiată în special de Ioffe şi de şcoala rusă — poate fi atît ionică, cît şi electronică.

Spre deosebire de ionii unei soluţii electrolitice, ionii unui cristal ionic ocupă în reţeaua cristalină poziţii fixe, exceptînd mişcările de mică amplitudine datorate agitaţiei termice. Totuşi, defectele reţelei cristaline permit o oarecare conductibilitate ionică. Astfel, în bromura de argint, cationii Ag^+ pot ocupa poziţii interstiţiale în reţea, lăsînd locuri vacante în subreţeaua formată de cationi (defecte Frenkel, 1926). În alte cazuri, ca cel al clorurii de sodiu, pot apărea locuri vacante în cele două subreţele formate de anioni şi cationi (defecte Schottky, 1935): ionii se pot deplasa din aproape în aproape, pentru a ocupa aceste locuri vacante. Ionii de impurităţi sînt şi mai slab legaţi în reţea decît ionii acesteia: difuzia lor în reţea sub influenţa agitaţiei termice este folosită în tehnologia semiconductoarelor. Sub acţiunea unui cîmp electric, ionii cei mai slab legaţi se pot deplasa în reţea, transportînd un curent electric slab. Astfel, în cristalele de NaCl, doar ionii Na^+ participă la acest curent, la temperatura obişnuită, în timp ce curentul este transportat atît de ionii Cl^- cît şi Na^+ în vecinătatea punctului de topire. În alte cristale izolante există şi o foarte mică conductibilitate de origine electronică.

PROGRESELE TEORIEI DIELECTRICILOR. Pe lîngă apariţia unui slab curent în izolatori, teoria dielectricilor trebuie să explice şi polarizarea acestora sub acţiunea unui cîmp electric, precum şi variaţia constantei dielectrice cu frecvenţa şi temperatura, şi modul în care undele electromagnetice se propagă prin ei. Concepţiile moderne asupra structurii materiei permit completarea teoriei lui Lorentz. Dielectricii se prezintă sub forme diferite (gaze, lichide sau solide), iar polarizarea lor poate avea mai multe origini. Sub acţiunea unui cîmp electric, electronii unui atom se pot deplasa faţă de nucleu: aceasta constituie polarizarea electronică. Cînd doi sau mai mulţi atomi se reunesc pentru a forma o moleculă, se poate întîmpla ca electronii să nu fie repartizaţi simetric faţă de nuclee: molecula are atunci un moment electric permanent; ea se numeşte „polară“, iar substanţa are o polarizare de orientare. În sfîrşit, distribuţia sarcinilor în materie poate fi modificată prin aplicarea unui cîmp electric: aceasta este polarizarea atomică.

Un dielectric format din molecule polare, cum este apa, nu prezintă polarizare la scara macroscopică în absenţa unui cîmp electric, deoarece agitaţia termică orientează dipolii la întîmplare. Transpunînd teoria lui Langevin asupra paramagnetismului la acest domeniu, Debye a calculat, în 1912, momentul rezultant în prezenţa unui cîmp electrostatic. Regimul de echilibru statistic, care corespunde unei orientări medii în sensul cîmpului, nu se stabileşte instantaneu; de asemenea, dacă se anulează cîmpul exterior, mişcarea browniană distruge echilibrul: ca şi în teoria electroliţilor tari, Debye a caracterizat acest fenomen print-un „timp de relaxare", pe care l-a calculat pe baza legii de viscozitate a lui Stokes, presupunînd că dipolii sînt sfere ce se rotesc într-un mediu vîscos. El a găsit astfel că constanta dielectrică variază puţin pînă la frecvenţe din gama microundelor, în care frînarea orientării dipolilor constituie o cauză a absorbţiei undelor. În această regiune se observă o scădere a constantei dielectrice cînd creşte frecvenţa, după cum constataseră, în 1896, A. Cole şi Drude. Au fost propuse diferite modele pentru studiul polarizării de orientare a lichidelor şi solidelor. Astfel, Oncley a înlocuit, în 1938, sferele lui Debye prin elipsoizi, ceea ce l-a condus la şase „timpi de relaxare".

În secolul al XIX-lea, Clausius, Mossotti şi, mai tîrziu, Lorentz au calculat polarizarea datorată formării de dipoli în cîmp electric. Fiecare moleculă suferă nu acţiunea unui cîmp exterior aplicat, ci a unui „cîmp efectiv", care domneşte într-o mică cavitate sferică cu centrul în poziţia moleculei, ţinînd seama şi de acţiunea celorlalţi dipoli induşi. Aceste calcule arată existenţa, pentru o substanţă dată, a unui „invariant molecular de refracţie" sau de polarizare, oricare ar fi starea sa fizică, temperatura sau presiunea. Studiul experimental al acestui invariant, care a jucat un rol fundamental în evoluţia teoriei, se face astăzi pe un mare domeniu de variaţie a parametrilor: astfel, pentru CO_2, el a fost măsurat pînă la 1 700 atm (A. Michels şi L. Kleerekoper, 1939). Constanţa acestui invariant se verifică destul de bine şi pentru moleculele nepolare; totuşi deosebirile dintre teorie şi experienţă au condus la necesitatea găsirii unor metode de studiu al interacţiilor electrostatice dintre dipoli, mai precise decît cea a lui Lorentz (J. Kirkwood şi J. Yvon, 1936).

Dacă se reface calculul lui Lorentz, luînd în considerare dipolii permanenţi ai lui Debye, se găseşte că mediul ar trebui să posede o polarizare spontană sub o anumită temperatură critică; acesta ar fi un fenomen analog cu cel al trecerii de la paramagnetism la feromagnetism. Substanţele feroelectrice există, dar sînt foarte rare. După teoria lui Mossotti-Debye, dimpotrivă, acesta ar trebui să fie un fenomen curent: astfel, cunoscînd valoarea experimentală a momentului dipolar, apa ar trebui să fie feroelectrică sub 1 140°K. În 1936, L. Onsager a refăcut calculul, înlocuind „molecula-test" punctuală, care a servit la calculul lui Lorentz, printr-un dipol care polarizează el însuşi mediul înconjurător, considerat ca un mediu dielectric continuu; în aceste condiţii, polarizarea spontană nu apare. Modelul lui Onsager a mai fost perfecţionat în 1939 de J. Kirkwood, care considera molecula-test şi vecinele sale apropiate ca un ansamblu, a cărui structură este cunoscută prin intermediul studiilor cu radiaţii X. Folosită de G. Oster şi Kirkwood la calculul constantei dielectrice a apei la 25°C în electrostatică, această teorie a dat valoarea $\varepsilon = 78{,}2$, în timp ce valoarea experimentală este 78,5 iar cea dată de calculul lui Onsager era $\varepsilon = 31$.

Succesul teoriei lui Kirkwood arată clar rolul dispunerii moleculelor dintr-o substanţă asupra proprietăţilor sale dielectrice. Debye şi-a îmbunătăţit, de asemenea, modelul său sferic, ţinînd seama de faptul că structura mediului face imposibile anumite mişcări. Aceasta este cu atît mai adevărat în cristale, în care legătura strînsă dintre forţele electrice şi cele mecanice se traduce prin proprietăţi deosebite: piezoelectricitatea, piroelectricitatea, electrostricţiunea, feroelectricitatea. Fără a mai insista asupra acestor fenomene, amintim doar că radioelectricienii folosesc în mod curent cristalele piezoelectrice, în special cuarţul, pentru a construi filtre de frecvenţă, oscilatori de mare stabilitate şi ceasuri de mare precizie.

La frecvenţe foarte ridicate, spre gama radiaţiilor luminoase şi infraroşii, rolul esenţial în determinarea constantei dielectrice îl joacă absorbţia undelor electromagnetice la frecvenţele de rezonanţă: mecanica cuantică i-a modificat profund interpretarea, dar nu a schimbat forma legii de variaţie a indicelui de refracţie cu frecvenţa, $n^2 = 1 + \Sigma a_i^2/(f_i^2 - f^2)$, unde f_i sînt frecvenţele de rezonanţă.

Fenomenele de polarizare conduc la variaţii ale energiei interne a dielectricilor; în acest mod, polarizarea de orientare este legată de energia de rotaţie a moleculelor, polarizarea atomică, de vibraţiile atomilor din moleculă, iar polarizarea electronică, de energia electronilor din atomi. Pentru fiecare dintre aceste mişcări, mecanica cuantică defineşte nivele de energie staţionare, în care sistemul nu radiază. O undă electromagnetică poate fi absorbită dacă energia unui foton este egală cu diferenţa dintre energiile a două nivele cuantificate, ceea ce determină frecvenţa de rezonanţă. În cazul electronilor periferici ai atomilor, acest fenomen se produce aproximativ în gama radiaţiilor luminoase. Dar pentru mişcările de vibraţie şi de rotaţie ale moleculelor, frecvenţele puse în joc sînt mult mai joase, în infraroşu sau chiar în domeniul radioelectric.

Un prim bilanţ al teoriei cuantice a dielectricilor, a fost făcut încă din 1932 de J. Van Vleck în lucrarea sa *Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities*. În această lucrare, el a studiat complet cazul gazelor în condiţii obişnuite; problema gazelor la presiuni mari, a lichidelor şi a solidelor nu era însă studiată decît mult mai sumar. De la această dată, cunoştinţele noastre asupra mecanismelor ce se găsesc la originea polarizării dielectrice au progresat pe măsură ce se dezvolta teoria cuantică a moleculelor şi a cristalelor şi pe măsură ce noile metode experimentale permiteau studiul structurii lor microscopice (radiaţii X, difracţia neutronilor).

De exemplu, s-a putut dovedi că feroelectricitatea prezentată de anumite cristale, adică existenţa unei polarizări spontane la scară macroscopică, este legată de o uşoară modificare a reţelei cristaline, care o face mai puţin simetrică, şi nu de orientarea spontană a dipolilor Debye. Mai semnalăm şi faptul că Van Vleck şi V. Weisskopf în 1945, şi Van Vleck şi H. Morgenau în 1949, au încercat să stabilească o teorie unitară a celor două mecanisme care explică pierderile în dielectrici: relaxarea Debye şi absorbţia selectivă a electronilor şi a atomilor.

În ciuda aportului considerabil al mecanicii cuantice, trebuie subliniate marile servicii pe care le aduce încă statistica clasică, după cum dovedesc rezultatele studiului interacţiilor electrostatice între moleculele supuse agitaţiei termice, expuse în lucrarea lui H. Fröhlich (*Theory of Dielectrics*, 1949) şi a lui C. Böttcher (*Theory of Electric Polarisation*, 1952).

Datorită enormei densităţi de energie obţinută cu laserii cu rubin, P. Franken şi colaboratorii săi au putut observa, în 1961, fenomene neliniare în cristalele dielectrice şi au obţinut producerea de lumină violetă prin dublarea frecvenţei luminii roşii coerente. Această experienţă conferă un interes considerabil studiului polarizării neliniare, care fusese deja abordat de N. Bloembergen. Ea se situează la punctul de frontieră a trei domenii: teoria dielectricilor, emisia de lumină coerentă de către laseri şi studiul fenomenelor neliniare (vezi p. 306).

G. SPECTROSCOPIA HERTZIANĂ ŞI APLICAŢIILE SALE

Studiile experimentale care furnizează elementele de bază pentru elaborarea teoriei dielectricilor şi pentru confirmarea valabilităţii acesteia devin cu atît mai valoroase cu cît oferă mai multe informaţii asupra structurii materiei. Astfel, cunoaşterea momentelor dipolare a devenit foarte importantă de cînd mecanica ondulatorie a permis o mai bună înţelegere a condiţiilor care determină asimetria electrică a moleculelor. Vom aminti ca expemlu că măsurarea momentelor dipolare a fost aplicată studiului structurii proteinelor, a acizilor aminaţi şi a peptidelor de către J. Oncley, E. Cohn şi J. Edsall (1943).

SPECTROSCOPIA HERTZIANĂ. Pînă la sfîrşitul celui de-al doilea război mondial, experienţele se efectuau în două benzi de frecvenţe, net separate: în electrostatică şi la frecvenţe radioelectrice, se măsurau constantele dielectrice şi pierderile pentru diverse materiale; în gamele de radiaţii luminoase şi infraroşii, interesau în special frecvenţele de absorbţie selectivă. Totuşi, încă din 1934, Cleeton şi Williams au pus în evidenţă prima tranziţie moleculară în gama microundelor, arătînd că amoniacul absoarbe undele cu lungime de undă de 1,25 cm: aceasta reprezintă ceea ce se numeşte banda de inversiune a amoniacului. De la sfîrşitul războiului s-a dezvoltat o tehnică cu totul nouă de studiu al benzilor şi liniilor de absorbţie, cunoscută sub numele de „spectrografie de radiofrecvenţe" sau „spectroscopie hertziană". Domeniul său îl constituie gama microundelor, care beneficiază de progresele realizate în studiile radar şi cu fascicule hertziene.

În acest mod, după studiul efectuat de T. Dakin, W. Good şi D. Coles în 1946 asupra moleculei COS, utilizarea efectului Stark în spectroscopia microundelor a devenit o metodă importantă de măsurare a momentelor dipolare; într-adevăr, dacă moleculele posedă un moment electric permanent, aplicarea unui cîmp electrostatic produce o dedublare importantă a liniilor lor de rotaţie în domeniul microundelor, analoagă efectului Stark în cazul radiaţiilor luminoase.

Spectroscopia de microunde, care permite măsurarea directă a distanţelor dintre nivelele energetice cuantificate ale mişcărilor de rotaţie şi de vibraţie ale atomilor şi moleculelor, completează în mod fericit informaţiile furnizate de studiul spectrelor optice, privitoare la nivelele de energie ale electronilor din atomi. Astfel, radiaţiile luminoase emise de molecula de hidrogen sînt formate din linii fine foarte apropiate, pe care teoriile lui Sommerfeld şi Dirac le-au explicat prin existenţa unor nivele electronice vecine foarte apropiate în atomi. Prin spectroscopia hertziană, se pot detecta direct tranziţiile dintre aceste nivele, iar Lamb şi Retherford au studiat în acest mod, în 1950, structura fină a spectrului hidrogenului atomic. Amintim, în sfîrşit, că spectroscopia hertziană reprezintă un instrument esenţial pentru studiul proprietăţilor magnetice ale materiei; studiul rezonanţei paramagnetice electronice, efectuat de Zavoiski în 1945, şi studiul rezonanţei paramagnetice nucleare, efectuat de Bloch şi Purcel, o dovedesc.

Spectroscopia hertziană constă adesea în studiul absorbţiei undelor în materie. Uneori, ea ia forme mai complicate. Astfel este metoda jeturilor moleculare, ale cărei origini se găsesc în lucrările lui Dunoyer din 1911: se produce un fascicul de molecule prin încălzirea substanţei respective într-un cuptor prevăzut cu un orificiu plasat în faţa unor diafragme. Această metodă a fost folosită, printre altele, şi în experienţele lui Lamb şi Retherford, citate mai sus.

Înainte de a expune două aplicaţii importante ale spectroscopiei hertziene, ceasurile atomice şi maserii, vom aminti încă două domenii de cercetare în care microundele joacă un rol important. Măsurările efectuate cu unde centimetrice şi milimetrice au devenit unele dintre principalele mijloace de studiu al gazelor ionizate. Ele sînt, de asemenea, folosite şi la studiul feritelor, adică al unor dielectrici înzestraţi cu proprietăţi magnetice. În prezenţa unui cîmp magnetic, aceste două medii devin anizotrope şi birefringente: astfel, ferita este caracterizată printr-un tensor de permeabilitate. Studiul proprietăţilor lor giromagnetice şi al undelor ce se propagă în ele a fost efectuat în paralel de Polder în 1949 şi Goldstein, în 1951, şi apoi de mai mulţi alţi cercetători. Şi invers, datorită utilizării feritelor (vezi p. 199), tehnica microundelor s-a îmbogăţit cu elemente de circuite nereciproce, „giratoare“ şi „circulatoare“, a căror utilizare s-a răspîndit foarte mult.

CEASURILE ATOMICE. Prima utilizare practică a tranziţiilor de frecvenţe radioelectrice a constituit-o stabilizarea ceasurilor care servesc drept etaloane secundare de timp. Încă de la dezvoltarea radioelectricităţii, „inima“ acestor ceasuri era formată din oscilatorii cei mai stabili pe care-i putea produce tehnica radioelectrică. Frecvenţa acestor oscilatori era dată, pînă în 1925, de un diapazon. Stabilizarea cu cuarţ piezoelectric, apărută în urma lucrărilor lui Cady şi Marrison, permite realizarea unor ceasuri capabile să măsoare o zi cu o precizie de o sutime de miime de secundă (precizie relativă: 10^{-10}). Din nefericire, ceasurile cu cuarţ prezintă o derivă în cazul unor intervale mari de timp (precizie relativă pe lună: 10^{-9}). Performanţele pe durate lungi şi, într-o măsură mai mică, performanţele pe durate scurte, pot fi îmbunătăţite prin stabilizarea frecvenţei oscilatorului cu ajutorul unei tranziţii cuantice, conform unui principiu propus de I. I. Rabi, încă din 1940.

Primele „ceasuri atomice“ au fost stabilizate cu ajutorul unei linii de absorbţie. H. Lyons a construit, pe baza acestui principiu, în 1949, un ceas cu amoniac şi apoi unul cu cesiu. Ele nu prezintă fenomenul de derivă, dar stabilitatea lor, limitată de lărgimea liniei de absorbţie, este cuprinsă între stabilitatea pe termen scurt şi stabilitatea pe termen lung a ceasurilor cu cuarţ.

Pentru a îmbunătăţi stabilitatea, trebuie acţionat asupra parametrilor care determină lărgimea liniilor: ciocnirile şi agitaţia termică. Una dintre metode constă în utilizarea unui jet molecular sau atomic; Zacharias şi cu colaboratorii săi au obţinut astfel rezultate excelente cu „atomicronul" pe care l-au realizat în 1955. Ei au folosit metoda pe care Rabi, inspirîndu-se dintr-o experienţă celebră a lui Stern şi Gerlach (1921), a pus-o la punct pentru a studia dipolii electrici şi magnetici în spectroscopia hertziană (vezi pp. 151—152).

Această experienţă arată că moleculele care se găsesc într-o stare de energie mai ridicată pot fi separate: cînd acestea se găsesc în majoritate, se obţine un sistem emiţător de radiaţii. Dacă asupra unui atom excitat se trimite un foton cu frecvenţa de rezonanţă, cel dintîi emite un al doilea foton de aceeaşi frecvenţă şi revine la un nivel inferior; se spune că se obţine emisie stimulată, spre deosebire de emisia spontană obişnuită (Einstein, 1917). Sistemul reprezintă atunci un amplificator cunoscut sub numele de *maser*, după iniţialele expresiei americane *microwave amplification by stimulated emission of radiation* (amplificarea microundelor prin emisia stimulată a radiaţiei). C. Townes, J. Gordon şi H. Zeiger au realizat primul maser în 1954 folosind radiaţia de inversie a amoniacului. În acest aparat, atomii excitaţi ai unui jet de amoniac sînt triaţi de un cîmp electric neuniform, după care traversează o cavitate rezonantă în care amplifică o microundă; dacă numărul lor este suficient de mare, sistemul reprezintă un autooscilator extrem de stabil, care poate fi folosit ca ceas atomic.

Aceste dispozitive, precum şi altele în curs de studiu, au permis perfecţionarea considerabilă a măsurării timpului. Un maser cu hidrogen atomic, propus de N. F. Ramsay, ar putea chiar să atingă o stabilitate de 10^{-13}. Rezultatele obţinute sînt atît de bune încît se preconizează definirea secundei prin frecvenţa unei tranziţii atomice, analog cu definirea recentă a metrului pe baza unei lungimi de undă a unei radiaţii luminoase. Se impun totuşi mari precauţii şi se caută cu febrilitate tranziţia care să fie cea mai independentă de condiţiile exterioare şi să dea deci cea mai bună definiţie a secundei.

AMPLIFICAREA SEMNALELOR SLABE CU AJUTORUL MASERILOR. Noţiunea de emisie stimulată, pe care se bazează funcţionarea maserilor, a fost introdusă de Einstein în 1917, într-un studiu asupra echilibrului materie-radiaţie.

Într-un sistem aflat în echilibru termodinamic, distribuţia moleculelor sau a atomilor între diversele nivele cuantificate se efectuează după legea lui Boltzmann, după care stările de energie inferioare sînt cele mai populate. O moleculă care se găseşte într-o stare E_2 în care există N_2 molecule, poate reveni pe un nivel inferior E_1, emiţînd un foton cu frecvenţa $(\nu = E_2 - E_1)/h$. Energia emisă în unitatea de timp va fi proporţională cu N_2. Dacă, dimpotrivă, asupra sistemului sînt trimişi n fotoni cu frecvenţa de rezonanţă, energia absorbită în unitatea de timp, prin trecerea moleculei de la nivelul E_1 la nivelul E_2, va fi proporţională atît cu populaţia N_1 a nivelului E_1, cît şi cu numărul n de fotoni. Einstein presupune că sistemul de molecule este plasat într-o incintă în echilibru termodinamic; într-o astfel de incintă, numărul n de fotoni cu frecvenţa ν este dat de legea lui Planck pentru radiaţia corpului negru. La echilibrul dintre sistemul de molecule şi radiaţie, emisia şi absorbţia fotonilor trebuie să se compenseze. Se observă uşor că emisia spontană nu este suficientă pentru a compensa absorbţia. Într-adevăr, dacă temperatura este foarte ridicată, densitatea de fotoni n devine foarte mare; deoarece populaţiile N_1 şi N_2 sînt în acest caz foarte apropiate, absorbţia va fi mai mare. Echilibrul nu poate fi restabilit decît admiţînd existenţa unui alt tip de emisie, proporţională cu densitatea de fotoni: aceasta este emisia stimulată. Studiul cantitativ al acestui echilibru arată că probabilitatea ca o moleculă în starea E_2 să producă un foton prin emisie stimulată, este aceeaşi cu probabilitatea de absorbţie a unui foton de către o moleculă în starea E_1; el arată, de asemenea, că probabilitatea de emisie spontană variază cu cubul frecvenţei. Astfel, emisia spontană, care este un proces normal de producere a luminii, este foarte slabă în domeniul microundelor.

Studiul echilibrului materie-radiaţie arată că, într-o substanţă în stare normală, nivelele inferioare sînt mai populate şi deci absorbţia depăşeşte emisia stimulată. Pentru a obţine o amplificare este necesară „inversarea“ populaţiilor nivelelor. Trierea stărilor excitate din jeturile moleculare permite obţinerea amplificării. Se poate folosi, astfel, o metodă de „pompare“, în care intră în joc trei nivele de energie. Cu ajutorul unei unde de pompare, atomii sînt ridicaţi de pe nivelul inferior E_1 pe nivelul superior E_3; cînd acesta din urmă este mai populat decît nivelul intermediar E_2, poate avea loc o amplificare prin emisie stimulată de fotoni între nivelele E_3 şi E_2; se poate întîmpla ca şi E_2 să devină mai populat decît E_1, ceea ce ar permite amplificarea unei unde cu frecvenţa de tranziţie dintre E_2 şi E_1. Această metodă a fost pusă la punct, pentru spectroscopia hertziană, de către Kastler, Bitter şi Brossel în 1950, sub denumirea de pompare optică; deoarece unda de pompare era lumina polarizată.

Într-un amplificator, este necesară producerea unei puteri mai mari decît într-un ceas; există deci interesul de a alege un mediu activ în stare solidă, pentru a dispune de o mai mare densitate de emiţători elementari. În 1955, ruşii Basov şi Prohorov şi, independent, în 1956, americanul N. Bloembergen, au propus amplificarea microundelor cu ajutorul unui maser cu trei nivele, folosind subnivelele Zeeman ale unei sări paramagnetice, pomparea fiind realizată şi ea tot în domeniul microundelor. H. Scovil, G. Feher şi H. Seidel au descris, în 1957, primul maser de acest tip; elementul activ era un cristal de etilsulfat de lantan, în care o parte din ionii lantanului erau înlocuiţi cu ioni paramagnetici de gadoliniu.

Asupra alegerii substanţei active influenţează numeroase fenomene. Astfel sînt procesele de „relaxare“, adică toate fenomenele care tind să depopuleze nivelele superioare şi să stabilească echilibrul termodinamic prin cedarea surplusului de energie a moleculelor excitate către mediul ambiant. Pentru a le reduce influenţa, maserul cu sare paramagnetică trebuie folosit la temperatura heliului lichid. Acest grav neajuns, din punctul de vedere al utilizatorului, constituie un mare avantaj din punctul de vedere al zgomotului. Astfel, Mac Whorter şi Meyer au obţinut, încă din 1958, o temperatură echivalentă de zgomot, inferioară valorii de 20°K, cu un maser paramagnetic cu ioni de crom.

În acest maser, ca şi în cel al lui Scovil, substanţa activă era plasată într-o cavitate rezonantă care nu permitea decît amplificarea unei benzi foarte înguste de frecvenţe. O perfecţionare considerabilă a fost adusă prin maserul cu undă progresivă, descris în 1959 de Grasse, Schulz-Dubois şi Scovil: mărirea lărgimii benzii se obţinea prin înlocuirea cavităţii printr-o linie periodică de tipul celei folosite în tuburile cu undă progresivă. Temperatura de zgomot a unui astfel de maser, care foloseşte rubinul drept material activ, este de ordinul a 2°K; zgomotul acestora este atît de slab, încît riscă să fie mascat de cel produs de circuite dacă nu sînt luate precauţii extreme. Performanţele maserilor deschid astfel posibilităţi cu totul noi în tehnica radarului şi a telecomunicaţiilor şi, mai ales, a radioastronomiei, în care orice creştere a sensibilităţii receptorilor măreşte limitele universului accesibil.

H. TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN SOLIDE

În timp ce studiul proprietăţilor dielectricilor şi al substanţelor magnetice conduceau, alături de progresele realizate în domeniul microundelor, la descoperirea maserului, cercetările asupra conductibilităţii electrice a corpurilor solide, reluat după 1926, au condus la inventarea tranzistorului, care a produs o adevărată revoluţie în domeniul aplicaţiilor electronicii.

TEORIA ELECTRONILOR ÎN METALE, DUPĂ SOMMERFELD. Am arătat că teoria lui Drude, cu toate succesele sale, prezintă numeroase dezacorduri cu experienţa, pe care calculele mai riguroase ale lui Lorentz nu au reuşit decît să le agraveze. Teoria lui Drude-Lorentz presupunea existenţa unui gaz de electroni liberi într-un metal. Era firesc ca această ipoteză să fie suspectată, deoarece electronii din metal nu se găsesc într-un spaţiu echipotenţial, ci într-un potenţial periodic creat de ionii din reţea. Sommerfeld a reluat totuşi ipoteza electronilor liberi, ca şi calculele lui Lorentz, în 1926, cînd a apărut teoria lui Fermi şi Dirac asupra comportării statistice a electronilor.

Folosind principiul de excluziune al lui Pauli, după care doar un electron poate ocupa fiecare stare definită de un ansamblu de numere cuantice, Fermi a arătat că electronii satisfac o statistică diferită de cea a cuantelor de lumină şi a gazelor materiale, studiată de Bose şi de Einstein, cu doi ani înainte. Formulele statisticii clasice nu constituie decît o aproximaţie, atît a statisticii Bose-Einstein, cît şi a statisticii Fermi-Dirac. Ele nu sînt valabile cînd gazul de particule este „degenerat“, adică la concentraţii mari şi la temperaturi joase.

Presupunînd că există cîte un electron liber în fiecare atom, este uşor de observat că există o degenerare pentru gazul electronilor liberi dintr-un metal. Acestuia deci trebuie să i se aplice statistica Fermi, care conduce imediat la rezultate interesante. La zero absolut, electronii completează nivelele de energie joase, pînă la ceea ce se numeşte „nivelul Fermi“. Cînd temperatura creşte, doar energia electronilor vecini nivelului Fermi se modifică şi, prin urmare, contribuţia electronilor la căldura specifică a substanţelor este mică, ceea ce este în acord cu legea lui Dulong şi Petit; ea este proporţională cu temperatura şi, prin urmare, se anulează la zero absolut, ceea ce satisface legea lui Nernst din termodinamică.

Pentru a studia conducţia electricităţii şi căldurii, Sommerfeld a folosit metoda lui Lorentz. Distribuţia electronilor în spaţiul fizic şi în spaţiul vitezelor este dată de o „funcţie de distribuţie“, a cărei evoluţie în timp este supusă ecuaţiei lui Boltzmann din teoria cinetică.

În cazul gazelor, această ecuaţie conferă un rol important ciocnirilor care conduc la echilibrul termodinamic, caracterizat prin funcţia de distribuţie a lui Maxwell, din statistica clasică. În cazul unui gaz degenerat de electroni, Sommerfeld consideră drept distribuţie de echilibru pe cea care este dată de statistica lui Fermi. În ceea ce priveşte termenul de ciocniri, din ecuaţia lui Boltzmann, acesta este exprimat prin intermediul parcursului liber mijlociu dintre două ciocniri. În aceste condiţii, el a putut calcula modul în care este perturbată funcţia de distribuţie prin aplicarea unui cîmp electric, sau în cazul unei variaţii de temperatură sau de concentraţie a electronilor de-a lungul conductorului.

Dacă se deduc conductibilităţile electrice şi calorice conform teoriei lui Lorentz, se găseşte că raportul lor este constant la o temperatură dată, după cum afirmă legea experimentală a lui Wiedemann şi Franz, în timp ce acordul cantitativ cu experienţa este chiar mai bun decît în teoria iniţială a lui Drude. De asemenea, cele două teorii explică fenomenele termoelectrice, dar în teoria lui Sommerfeld ordinul lor de mărime este mult mai mic decît în cea a lui Drude-Lorentz şi într-un acord mai bun cu experienţa. Dimpotrivă, variaţia conductibilităţii cu temperatura nu apare explicit în formula lui Sommerfeld: pentru a apărea, trebuie clarificată noţiunea de parcurs liber mijlociu al electronilor în corpul solid.

Înainte de a aborda această problemă, mai amintim că noua teorie explică corect fenomenul extragerii electronilor din metale. Statistica Fermi permite obţinerea directă a legii lui Richardson, modificată pentru emisia termoionică ($i = AT^2 \exp(-b/T)$), în timp ce statistica clasică nu furniza decît o lege în $T^{1/2}$. Am văzut totuşi că Richardson şi Dushman au obţinut legea modificată înaintea apariţiei statisticii Fermi, datorită unor raţionamente de termodinamică şi prin folosirea „constantei chimice" a electronului, calculată după lucrările lui Sackur şi Tétrode, bazate ele însele pe principiul lui Nernst.

În sfîrşit, mecanica ondulatorie a furnizat explicaţia unui fapt observat cu cîţiva ani mai înainte: cînd tensiunea anodului creşte, curentul termoionic nu devine saturat exact după previziunile legii lui Richardson, ci el continuă să crească uşor. Mecanica ondulatorie explică aceasta printr-o proprietate care nu are echivalent în mecanica clasică: în prezenţa unui cîmp electric aplicat la suprafaţa unui metal, bariera de potenţial are o grosime finită, iar undele electronice pot să o traverseze chiar dacă electronii nu au o energie suficientă pentru a o depăşi. Acelaşi „efect de tunel" din mecanica ondulatorie explică de ce un vîrf rece emite electroni sub acţiunea unui cîmp electric ridicat, fenomen observat de Wood încă din 1898. Legea „emisiei de cîmp", pe care Fowler şi Nordheim au obţinut-o în 1928 cu ajutorul mecanicii ondulatorii, este concordantă cu rezultatele experimentale ale lui Millikan şi Eyring (1926). Deşi este dificil de obţinut, emisia de cîmp este totuşi utilizată în anumite microscoape electronice, iar studiul său a cunoscut o creştere a interesului după 1950, în vederea unor eventuale aplicaţii la tuburile electronice.

PARCURSUL LIBER MIJLOCIU AL ELECTRONILOR ÎN METALE. Încă din 1928, mai mulţi autori au abordat studiul parcursului liber mijlociu al electronilor în metale, studiu care avea să permită rezolvarea principalei probleme lăsate nelămurite de teoria lui Sommerfeld. Frenkel, Houston şi F. Bloch, independent, au folosit mecanica ondulatorie pentru a trata această problemă. Reducînd-o la studiul împrăştierii undelor electronice pe reţelele cristaline, se ajungea la o problemă asemănătoare cu împrăştierea radiaţiilor X pe cristale. La zero absolut, ionii reţelei sînt în repaus, iar dacă cristalul este presupus perfect, propagarea undelor are loc cu o viteză constantă şi fără împrăştiere. Cînd temperatura creşte, reţeaua este deformată de agitaţia termică a ionilor şi apare o împrăştiere a undelor; deoarece energia agitaţiei termice a reţelei este proporţională cu temperatura la valori suficient de depărtate de zero absolut, ne putem aştepta la un parcurs liber mijlociu proporţional cu temperatura şi, prin urmare, folosind formula lui Sommerfeld, la o conductibilitate invers proporţională cu temperatura absolută — ceea ce este în acord cu experienţa.

Înainte de a studia problema dificilă a propagării undelor electronice într-o reţea în agitaţie termică, era necesară studierea propagării într-o reţea periodică perfectă. În acest caz mai simplu, Bloch a dat forma soluţiilor ecuaţiei lui Schrödinger din mecanica ondulatorie. S-a observat imediat că apare o reflexie selectivă a undelor care satisfac relaţia lui Bragg $n\lambda = 2d \cdot \sin\alpha$, dintre lungimea de undă λ, distanţa interatomică d şi unghiul α dintre direcţia de propagare şi planele reticulare ale reţelei cristaline, n fiind un număr întreg. Această condiţie a lui Bragg, binecunoscută în studiul difracţiei radiaţiilor X în cristale, avea să joace un rol esenţial în „teoria benzilor“. Totuşi, un calcul simplu, efectuat pe baza distribuţiei Fermi, arăta că în cazul unui cristal metalic cum ar fi argintul, lungimile undelor electronice sînt prea mari pentru ca să apară reflexia selectivă: în aceste condiţii ele se propagă fără atenuare în reţeaua perfectă. Interpretarea ondulatorie explică astfel că există electroni liberi într-o reţea cristalină, în timp ce în teoria corpusculară, aceştia aveau mai mult rolul unor „bile aruncate într-un joc de popice“, folosind o expresie a lui L. Brillouin.

Agitaţia termică a reţelei este luată în considerare prin calcularea perturbaţiei pe care aceasta o aduce faţă de propagarea într-un cristal perfect la zero absolut. Pentru aceasta, trebuie luate în considerare deplasările ionilor sub forma unor unde elastice, care fuseseră studiate cu vreo zece ani mai înainte. Mai trebuie ţinut seamă de faptul că energia acestor unde elastice este cuantificată: cuantele lor de energie, denumite acum „fononi“, ascultă de statistica Bose-Einstein. Pe de altă parte, conform principiului de excluziune al lui Pauli, într-o celulă elementară din spaţiul vitezelor se poate găsi un singur electron; în consecinţă, în cursul unei „ciocniri“, un electron nu poate ocupa o celulă decît dacă aceasta este liberă. Echivalentul mecanismului de ciocnire al lui Lorentz şi Sommerfeld îl constituie trecerea unui electron de la o celulă la alta, trecere însoţită de apariţia sau absorbţia unui fonon, adică cu producerea sau absorbţia unei cuante de energie termică a reţelei. Deci termenul de interacţie dintre electroni şi agitaţia reţelei este cel care trebuie introdus în ecuaţia lui Boltzmann, în locul operatorului de ciocnire. Prin această metodă, cercetările lui Bloch şi Houston, completate de cele ale lui Brillouin, conduc la următoarele concluzii, verificate destul de bine experimental la majoritatea metalelor pure: la temperaturi obişnuite, rezistivitatea este proporţională cu temperatura absolută T; la temperaturi inferioare „temperaturii Debye“ din teoria căldurii specifice a solidelor, ea este proporţională cu T^5. În 1931, Nordheim a arătat că defectele reţelei cristaline şi impurităţile introduc o rezistivitate suplimentară, independentă de temperatură. Dimpotrivă însă, această teorie nu conduce la nimic asemănător cu supraconductibilitatea; anularea bruscă a rezistivităţii în vecinătatea lui zero absolut, observată de Kamerlingh Onnes în 1911, avea să rămînă mult timp una dintre enigmele fizicii.

TEORIA BENZILOR: IZOLATORI ŞI SEMICONDUCTOARE. Studiul mişcării unui electron într-un cristal, sau mai degrabă cel al propagării undei care îi este asociată în mecanica ondulatorie, arată că, datorită periodicităţii reţelei cristaline, energia electronilor trebuie să fie cuprinsă în anumite benzi, ale căror limite corespund unor lungimi de undă ce satisfac condiţia de reflexie selectivă a lui Bragg; aceste limite sînt date de studiul „zonelor Brillouin“, care formează baza fizicii moderne a corpului solid.

Între benzile de energie permise se găsesc benzile interzise. Dacă se ţine seamă de faptul că cristalul este limitat şi nu conţine decît *N* atomi, se găseşte că fiecare bandă cuprinde *N* nivele de energie discrete, foarte apropiate, fiecare putînd fi ocupată de un electron. Originea acestor benzi se poate explica considerînd că sînt luaţi *N* atomi, depărtaţi unul de altul, care sînt apoi reuniţi; ca urmare a interacţiilor lor, un nivel cuantic al atomului izolat se împarte în *N* nivele, care formează o bandă.

Întrevăzută de Strutt în 1927, dezvoltată de diverşi autori ca Bloch, Brillouin, Peierls şi Morse, teoria benzilor a oferit cheia explicării deosebirii dintre izolatori şi conductori, dintre electronii legaţi şi electronii semiliberi, în special în urma cercetărilor lui A.H. Wilson din 1931. Ideea de bază constă în aceea că o bandă complet ocupată nu participă la conductibilitate: nivelele vecine de cele ale unui electron sînt toate ocupate, iar cîmpul electric nu poate să-i furnizeze o energie suficientă pentru a depăşi banda interzisă. Prin urmare, un corp care nu are decît benzi complet ocupate este un izolator. Un corp care posedă o bandă incomplet ocupată este, dimpotrivă, un conductor: această bandă semiocupată este banda sa de conducţie.

Poate apărea şi un al treilea caz: cel al semiconductoarelor. În sensul de mai sus, aceştia sînt izolatori la temperatură joasă, dar ei au particularitatea prezenţei unei benzi interzise înguste deasupra ultimei benzi ocupate, care constituie „banda de valenţă“.

Astfel, dacă temperatura creşte, agitaţia termică a reţelei poate obliga un electron din banda de valenţă să treacă în banda imediat superioară, denumită „banda de conducţie“. Acest electron lasă un electron liber, un „gol“ în banda de valenţă. În reţeaua cristalină totul se petrece ca şi cum ar fi apărut o particulă pozitivă în punctul corespunzător; de fapt, crearea unei perechi electron-gol, este echivalentă cu ionizarea gazelor în care un electron se desprinde de un atom. Golurile se pot deplasa în solid fără ca să aibă loc şi o mişcare a ionului. Un alt electron din banda de valenţă ocupă locul liber, lăsînd un gol în altă parte. În acest fel, electronii şi golurile difuzează în interiorul cristalului, la fel cum difuzează ionii într-o descărcare gazoasă, iar după o anumită durată de viaţă, ei se recombină. Dacă se aplică un cîmp electric, electronii care au trecut în banda de conducţie şi golurile pe care le-au lăsat în banda de valenţă participă la conducţie. Creşterea foarte rapidă a numărului de perechi electron-gol cu temperatura, conduce la o proprietate caracteristică a semiconductoarelor: rezistenţa lor electrică scade cînd temperatura creşte.

Aceste substanţe, denumite „semiconductoare intrinsece“, sînt substanţe pure, ca de exemplu elementele din cea de-a patra grupă a tabelului periodic al lui Mendeleev; dintre ele, cele mai utilizate sînt germaniul şi siliciul. Există şi „semiconductoare extrinsece", care-şi datorează proprietăţile prezenţei unor impurităţi.

Dacă se introduce o impuritate din grupa a cincea a tabelului periodic, ca stibiul sau indiul, într-un cristal de siliciu, se introduce un electron suplimentar; fiind slab legat, acesta poate trece în banda de conducţie; o astfel de impuritate produce o conductibilitate prin exces de electroni, numită „de tip *n*". Dacă, dimpotrivă, se introduce o impuritate din grupa a treia, ca borul, apare un loc vacant pentru un electron; imediat ce un electron dintr-un atom de siliciu se stabileşte în acest loc vacant, apare un gol în banda de valenţă a cristalului, care posedă o conductibilitate prin lipsă de electroni, numită „de tip *p*". Atomii impurităţilor introduc nivele suplimentare, situate în banda interzisă: în semiconductoarele de tip *n*, acestea sînt „nivele donoare" de electroni, situate în vecinătatea benzii de conducţie; în semiconductoarele de tip *p*, acestea sînt „nivele acceptoare", plasate în vecinătatea benzii de valenţă. Proprietăţile cristalelor depind puternic de prezenţa impurităţilor; de aceea, operaţiile de purificare şi de adăugare de impurităţi — ultima fiind numită „dopare" — joacă în tehnologia semiconductoarelor un rol analog celui al tehnicii vidului pentru tuburile electronice.

Între 1928 şi 1932, teoria conducţiei electricităţii în solide a cunoscut progrese spectaculoase, găsindu-se şi explicarea proprietăţilor semiconductoarelor. Au rămas fără îndoială multe amănunte de clarificat; era, de asemenea, necesară adaptarea analizei fenomenelor electrice la evoluţia formalismului mecanicii cuantice; aceasta a fost atît de rapidă, încît cinci ani mai tîrziu, abia mai puteau fi recunoscute calculele din 1930 sub noua lor formă, deşi ideile de bază rămăseseră aceleaşi.

REDRESOARELE CU SEMICONDUCTOARE. Progresele obţinute în cunoaşterea mecanismului conducţiei electricităţii în solide s-au manifestat pe plan practic prin anii 1950, odată cu apariţia tranzistorului. Originea acestui dispozitiv este însă legată de domeniul redresoarelor, dintre care unele erau folosite încă de la începutul secolului.

Prin 1920, a început folosirea „redresoarelor uscate" pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu. Aceste dispozitive, care se mai folosesc încă, sînt formate dintr-o placă metalică acoperită cu un strat semiconductor: perechile cupru-oxid de cupru şi fier-seleniu sînt cele mai răspîndite.

În încercarea de a explica funcţionarea lor, s-a apelat prin 1930 la un mecanism folosit deja în teoria diferenţelor de potenţial care există la contactul a două metale. La echilibru, acelaşi număr de electroni trebuie să străbată suprafaţa de separare în cele două sensuri; cînd potenţialele de ieşire ale celor două metale sînt diferite, realizarea acestei stări de echilibru presupune stabilirea spontană a unei diferenţe de potenţial la contactul lor. Bariera de potenţial care apare astfel este deformată asimetric, după cum i se aplică o diferenţă de potenţial într-un sens sau în celălalt. În concluzie, este mai uşor să facem curentul să treacă într-unul dintre sensuri. Această asimetrie electrică, foarte mică la contactul a două metale, devine suficient de puternică la contactul anumitor metale cu anumite semiconductoare pentru a putea fi folosită în redresoarele industriale. În 1939, N.F. Mott a încercat să lămurească teoria lor, studiind modificarea distribuţiei electronilor în semiconductoare, în vecinătatea metalului. Deşi a fost perfecţionată de Schottky şi de Bethe, această teorie nu explică toate faptele observate.

Studiul redresoarelor solide a beneficiat din plin de eforturile din domeniul radarului din timpul războiului. Deoarece diodele cu vid dădeau rezultate slabe pentru microunde, a fost necesar să se revină la un dispozitiv asemănător detectorului cu galenă. Format dintr-un vîrf metalic sprijinit pe un cristal de sulfură de plumb, acest detector era considerat unul dintre cele mai bune, înainte de apariţia tuburilor cu vid înaintat. Detectoarele de microunde derivă din el prin înlocuirea sulfurii de plumb cu un monocristal de siliciu. Realizate în timpul celui de-al doilea război mondial, dezvoltarea lor reprezintă fructul a numeroase contribuţii, adesea anonime; printre cele mai importante, amintim producerea de către Seitz, în 1942, a siliciului cu un conţinut de impurităţi mai mic decît 1/1000 şi introducerea de către Theuerer, în 1943, a unor foarte mici cantităţi de bor în siliciu.

Un important studiu asupra germaniului se efectua în acelaşi timp în Statele Unite la Universitatea Purdue, precum şi în laboratoarele firmelor *Bell Telephone* şi *General Electric*. Cercetătorii de la Universitatea Purdue, conduşi de Lark-Horowitz, au obţinut un rezultat important prin producerea unei regiuni *p* şi a unei regiuni *n*, în acelaşi cristal de germaniu; suprafaţa lor de separare reprezintă o „joncţiune“ care are proprietăţi de redresare a curentului. Teoria joncţiunilor, dată de W. Shockley în iulie 1949, se bazează atît pe electroni, cît şi pe goluri. Ea explică perfect proprietăţile redresoare, ale joncţiunilor astăzi curent utilizate; diodele semiconductoare sînt fabricate industrial pentru a echipa materialul radioelectric şi maşinile electronice de calcul.

În funcţionarea joncţiunilor, un rol esenţial este jucat de difuzia electronilor şi a golurilor din regiunile cu concentraţii mari spre regiunile cu concentraţii mici. Acest fenomen este analog celui întîlnit încă de la începuturile teoriilor electroliţilor şi ale gazelor ionizate; în orice caz, se regăseşte aceeaşi relaţie a lui Einstein între coeficientul de difuzie şi mobilitate. Astfel, electronii liberi, mai numeroşi în regiunea *n*, difuzează spre regiunea *p*, în timp ce golurile difuzează în sens invers. În vecinătatea joncţiunii, în regiunea *n* rămîne deci un surplus de ioni pozitivi, iar în regiunea *p* un surplus de ioni negativi. Aceşti ioni formează o barieră de sarcină spaţială în care domneşte un cîmp electric, în timp ce restul cristalului rămîne echipotenţial. Modificarea acestei bariere la aplicarea unei diferenţe de potenţial la bornele joncţiunii explică proprietăţile de redresare ale joncţiunii.

Joncţiunile posedă şi proprietăţi fotoelectrice remarcabile. Într-adevăr, un foton care pătrunde într-un semiconductor poate obliga un electron din banda de valenţă să treacă în banda de conducţie, creînd, în acelaşi timp, şi un gol. Rezultă că o joncţiune, la bornele căreia există spontan o diferenţă de potenţial, poate furniza curent într-un circuit exterior dacă este supusă iluminării. Acest fenomen reprezintă efectul fotovoltaic, observat în 1839 de E. Becquerel la contactul unui electrod de platină cu o soluţie de acid sulfuric. Această proprietate a joncţiunilor este folosită la realizarea unor pile fotoelectrice.

Crearea unor perechi electron-gol de către fotoni explică creşterea conductibilităţii semiconductoarelor, cînd sînt supuşi unei iluminări: aceasta este fotoconductibilitatea. Ea a fost observată la seleniu încă din 1878 de W. Smith. Rezultatelor obţinute asupra diverselor substanţe li s-a acordat puţină valoare ştiinţifică pînă în 1937, cînd Hilsch şi Pohl au dat teoria acestui fenomen. Studiul lor a atras puţin atenţia, aşa că Pohl şi Stöckmann au fost nevoiţi să publice un al doilea studiu, cu acelaşi subiect, în 1947. După această dată, fotoconductibilitatea a fost recunoscută ca o proprietate esenţială a semiconductoarelor, în care crearea unei perechi electron-gol de către un foton este echivalentă cu ionizarea unui gaz prin efect fotoelectric. Studiul duratei de viaţă al perechilor electron-gol astfel create reprezintă o sursă importantă de informaţii asupra proprietăţilor unui material semiconductor. Fotoconductibilitatea are şi aplicaţii practice: cu materiale ca sulfura de plumb s-au realizat celule fotosensibile care permit detectarea radiaţiilor infraroşii. Ele sînt folosite, de asemenea, şi într-un nou tub de luat vederi în televiziune, vidiconul.

TRANZISTOARELE. Aplicaţia cea mai spectaculoasă a semiconductoarelor este, fără îndoială, tranzistorul, care tinde să înlocuiască tuburile cu vid, în numeroase domenii şi în special la frecvenţe joase. Această triodă semiconductoare a fost realizată iniţial sub forma „tranzistorului cu vîrfuri“, descris în 1948 de J. Bardeen şi W. Brattain în *Physical Review:*

> Două contacte punctuale, asemănătoare celor utilizate la redresoarele cu vîrf, sînt plasate foarte aproape unul de altul (0,005—0,025 cm) pe suprafaţa superioară a unui mic bloc de germaniu. Unul dintre contacte, polarizat în sens direct, se numeşte emiţător. Al doilea, care este polarizat în sens invers se numeşte colector. Un contact de mare suprafaţă şi de mică rezistenţă, plasat pe faţa inferioară, numită bază, reprezintă al treilea element al triodei.

Inventarea tranzistorului este rezultatul unor importante lucrări de fizica corpului solid care au adus autorilor lor, Shockley, Bardeen şi Brattain, premiul Nobel. Ea reprezintă un exemplu caracteristic al condiţiilor de cercetare în echipă din marile laboratoare moderne.

Înainte de primul război mondial, laboratoarele firmei *Bell Telephone* au organizat un grup de cercetători în vederea studiului electronilor în solide; William Shockley, care s-a ataşat acestui grup în 1936, a fost principalul lui teoretician. Acest laborator a participat la efortul de război în domeniul radarului şi a efectuat cercetări importante asupra germaniului şi siliciului pentru detectorii de microunde. Rezultatele tehnologice obţinute s-au dovedit preţioase cînd cercetarea teoretică a fost reluată mai activ după 1945, odată cu sosirea în grup a lui J. Bardeeen. Unul dintre principalele subiecte de studiu l-a constituit modulaţia rezistenţei unui strat semiconductor subţire cu ajutorul unui cîmp electric aplicat printr-un electrod izolat de strat. W. Shockley spera astfel să comande curentul din strat printr-un „efect de cîmp“ şi să obţină o amplificare asemănătoare cu cea din tubul cu vid. Efectul căutat a fost observat, dar cu o intensitate mai mică decît prevedea teoria. Pentru a explica acest semieşec, J. Bardeen a propus o nouă teorie asupra comportării electronilor şi golurilor la suprafaţa corpurilor solide. Pentru a o verifica, W. Brattain a fost condus la explorarea zonei vecine a unui contact punctual metal-semiconductor cu ajutorul unui al doilea vîrf metalic: în felul acesta s-a descoperit structura tranzistorului cu vîrfuri. Amplificatorul astfel descoperit nu foloseşte efectul de cîmp căutat, ci un efect de „tranziţie“, observat atunci cînd există interacţie între două contacte redresoare sau două joncţiuni suficient de apropiate. După această descoperire, evenimentele s-au precipitat. În aprilie 1949, Bardeen şi Brattain au lămurit principiul de funcţionare al tranzistorului cu vîrfuri. În iulie, acelaşi an, în articolul în care prezenta teoria joncţiunii *n-p*, Shockley a studiat şi un alt tip de tranzistor, format din două joncţiuni foarte apropiate, polarizate în sens contrar şi conţinute în acelaşi cristal semiconductor. Studiat teoretic înainte de a fi realizat practic, primul tranzistor cu joncţiuni a fost descris în iulie 1951 de Shockley, Sparks şi Teal. În numai zece ani, el a invadat treptat majoritatea domeniilor electronicii şi radioelectricităţii.

Acest dispozitiv este format dintr-o regiune *n*, care formează baza, situată între două regiuni *p*, care formează emiţătorul şi colectorul. Joncţiunea emiţător-bază este polarizată în sens direct printr-o mică tensiune, în timp ce joncţiunea bază-colector este polarizată în sens invers cu o tensiune ridicată. Un curent de goluri difuzează de la emiţător spre bază, străbătînd joncţiunea; cu preţul unui consum mic de energie, tensiunea emiţător-bază permite reglarea intensităţii acestui curent. Se alege baza de o lungime mică faţă de lungimea de difuzie din această regiune, astfel încît golurile care vin dinspre emiţător să poată trece în regiunea colectorului înainte de a apărea recombinarea. Rolul joncţiunii emiţător-bază este astfel de a introduce goluri în colector şi a obliga astfel bateria care polarizează joncţiunea bază-colector să furnizeze energie. Dacă tensiunea de comandă este alternativă, se poate obţine o tensiune mai ridicată decît aceasta la bornele unei impedanţe plasată în serie cu emiţătorul şi apare deci o amplificare.

Shockley nu a abandonat ideea sa de amplificator cu efect de cîmp: în 1952, el a publicat un studiu asupra unui model de „tranzistor unipolar", a cărui teorie a fost reluată în 1953 de G. Dacey şi I. Ross. Acest principiu a fost folosit independent în „tehnetronul" inventat în 1958 de S. Teszner; dispozitivul astfel realizat are caracteristici mai apropiate de cele ale tuburilor cu vid decît de cele ale tranzistoarelor cu joncţiuni. Amplificatoarele cu efect de cîmp se află în studiu, în momentul de faţă, în mai multe laboratoare.

Succesul elementelor cu semiconductoare depinde, în mare parte, de tehnologia realizării lor. Utilizarea metodei „topirii zonale" pentru prepararea germaniului de către W. Pfann a jucat un rol important din acest punct de vedere. Metoda difuziei impurităţilor, care s-a adăugat după 1955 la metodele de prelucrare şi de aliere folosite la prepararea regiunilor de tip *n* şi de tip *p* în acelaşi cristal, a permis realizarea unor joncţiuni extrem de subţiri şi, deci, obţinerea industrială a tranzistoarelor funcţionînd la frecvenţe înalte, pînă la 500 MHz. Datorită supleţei tehnologiei puse la punct pentru semiconductoare, se pot realiza în acelaşi cristal adevărate „circuite integrate", capabile să înlocuiască montaje formate din amplificatoare, rezistenţe şi capacităţi. Apariţia acestor „circuite solide", care reprezintă una dintre metodele de realizare a microminiaturizării aparaturii electronice, va constitui fără îndoială o revoluţie în electronica aplicată.

SEMICONDUCTOARELE ÎN DOMENIUL MICROUNDELOR. Redresoarele cu semiconductoare sînt singurele detectoare şi mixeri folosite în domeniul microundelor. În schimb, este mult mai dificilă realizarea amplificatoarelor în acest domeniu cu ajutorul elementelor cu semiconductoare: tranzistoarele nu au reuşit să concureze aici prea serios tuburile cu vid. Totuşi, o diodă descoperită de Esaki în 1957, a permis construirea unor amplificatoare de putere mică.

Aceasta este caracterizată printr-o joncţiune extrem de subţire, pe care electronii şi golurile pot să o traverseze prin „efect tunel", după cum prevede mecanica ondulatorie. Cînd curentul care o traversează creşte, tensiunea la bornele sale scade: ea prezintă deci un efect de „rezistenţă negativă". Montată într-o cavitate rezonantă, dioda lui Esaki permite realizarea unui amplificator sau a unui oscilator de microunde; în 1961, C.A. Burrus a obţinut chiar oscilaţii cu lungimea de undă de 3 mm. Se aşteaptă ca aceasta să poată fi folosită la realizarea unor memorii electronice cu viteze foarte mari de funcţionare.

În ultimii ani s-a descoperit o altă metodă pentru utilizarea diodelor semiconductoare ca amplificatoare de microunde. Este vorba de noua categorie a „amplificatoarelor parametrice", a căror funcţionare se bazează pe proprietăţile reactanţelor neliniare.

Piesa electronică care a cunoscut cel mai mare succes în realizarea acestor amplificatoare este o diodă cu joncţiune semiconductoare, studiată, printre alţii, de Uhlir, după 1956. Polarizată în sens invers, joncţiunea reprezintă o capacitate, a cărei valoare depinde de tensiunea electrică ce i se aplică la borne. Inventarea acestei diode a rezultat şi din cercetările efectuate pentru dezvoltarea radarului. Pentru a explica fenomene observate încă din 1940, s-a presupus că redresoarele cu vîrf folosite în domeniul microundelor trebuie să prezinte o capacitate neliniară; în urma lucrărilor lui Bakanovski din 1954 privind utilizarea acestor capacităţi în schimbătorii de frecvenţă, Uhlir a studiat diodele cu care au fost realizate primele amplificatoare parametrice de microunde. Studiate după 1957 în numeroase laboratoare, aceste dispozitive au atins stadiul comercial încă din 1960.

Teoria amplificării parametrice a fost dată în 1956 de Manley şi Rowe, care au stabilit formulele care guvernează distribuţia energiei între diferitele frecvenţe ce intervin într-un mediu neliniar şi nedisipativ. Energia necesară amplificării semnalelor nu este produsă în acest caz de o sursă de curent continuu, ca în amplificatoarele cu tuburi sau cu tranzistoare, ci de o sursă de „pompare" de înaltă frecvenţă; amplificatoarele parametrice au în comun această particularitate cu maserii cu trei nivele. Ele introduc uneori rezistenţe negative în circuitele în care produc schimbările de frecvenţe. Aceste caracteristici au necesitat o adaptare a teoriei reţelelor electrice, care a fost efectuată de Haus şi Adler în 1958.

Interesul amplificatoarelor cu reactanţă neliniară constă în posibilitatea obţinerii unei temperaturi mici de zgomot, chiar la temperatura obişnuită, deoarece pot fi reduse la minim elementele rezistive, care constituie surse ale zgomotului; această idee a fost studiată de Heffner şi Wade, care au calculat temperatura de zgomot minimă a amplificatoarelor parametrice în 1958. S-au obţinut practic temperaturi de zgomot de 300°K; aceste performanţe sînt cu puţin mai bune decît cele ale tuburilor electronice, dar mai puţin bune decît cele ale maserilor.

Există şi alte tipuri de amplificatoare parametrice. În aprilie 1956, Suhl a propus realizarea unui amplificator folosind fenomenele neliniare din ferite; realizarea experimentală a fost descrisă de M.T. Weiss în iulie 1957. Deşi studiul său este în curs, rezultatele obţinute pînă acum sînt mai puţin bune decît cele oferite de diodele semiconductoare; viitorul său depinde de progresele realizate de fizicienii corpului solid în fabricarea materialelor magnetice — feritele şi grenatele. Au mai fost realizate şi amplificatoare parametrice cu fascicule de electroni (vezi pp. 316—318).

Apariţia acestei clase de amplificatoare nu constituie decît un aspect al utilizării fenomenelor neliniare, care pot fi întîlnite în domeniile cele mai variate. Mecanica furnizează numeroase exemple: cel mai simplu este cel al leagănului, căruia i se poate mări amplitudinea oscilaţiilor coborînd centrul de gravitate în timpul coborîrii şi ridicîndu-l în cursul urcării, ceea ce reprezintă o „pompare" cu frecvenţă dublă faţă de oscilaţiile leagănului. În secolul al XIX-lea, a mai fost studiată şi excitarea parametrică a vibraţiilor la suprafaţa unui lichid (Faraday, 1831) şi pe o coardă vibrantă (Melde, 1859). Elementele neliniare au fost folosite de la începuturile radioelectricităţii, ca detectoare şi schimbătoare de frecvenţe. Încă din 1913, inductanţele neliniare au fost folosite ca modulatoare la emiţătoarele cu arc şi la alternatoare. S-a remarcat faptul că acestea produceau nu numai o schimbare de frecvenţă, ci şi o amplificare, pentru care motiv Alexanderson le-a denumit „amplificatoare magnetice". Ele au fost abandonate ca modulatoare în urma succeselor tuburilor cu vid, dar au supravieţuit ca amplificatoare şi se folosesc în mod curent în servomecanisme. Înainte de 1940, Hartley a studiat apariţia oscilaţiilor în circuitele electrice neliniare. Dar pentru a le folosi, a trebuit să se aştepte ca tehnica să poată furniza elemente neliniare cu utilizare uşoară; progresele obţinute în domeniul semiconductoarelor au adus o soluţie acestei probleme.

SUCCESELE ŞI LIMITELE TEORIEI CLASICE A ELECTRONILOR ÎN CORPURLE SOLIDE. Descoperirile pe care le-am amintit şi care au avut urmări şi în viaţa de toate zilele, dovedesc fecunditatea teoriei semiconductoarelor. Aceasta explică, cel puţin calitativ, proprietăţile semiconductoare ale unor corpuri simple ca germaniul şi siliciul, a anumitor oxizi şi a altor compuşi şi, în special, a combinaţiilor dintre elementele grupelor a III-a şi a V-a din tabelul periodic al lui Mendeleev, cum ar fi arseniura de galiu şi stibiatul de indiu. Ea defineşte mărimile care caracterizează un material dat, iar măsurarea acestora permite prevederea proprietăţilor electrice ale materialului în condiţii variate. Folosind mecanica ondulatorie, pe baza unor calcule lungi şi complicate, se pot determina, în anumite cazuri, benzile de energie, nivelele legate de impurităţi şi mobilitatea electronilor şi a golurilor unui semiconductor.

Aceste succese nu trebuie totuşi să ascundă dificultăţile, cu atît mai mult cu cît acestea pot constitui sursa unor noi progrese. Astfel, acordul dintre teorie şi experienţă este mai des calitativ decît cantitativ. Existenţa semiconductoarelor lichide sau amorfe ridică probleme dificile, deoarece toată teoria actuală se bazează pe periodicitatea reţelei cristaline. Regel şi colaboratorii săi au remarcat faptul că proprietăţile electrice ale unor semiconductoare nu suferă discontinuităţi la punctul de topire. Dimpotrivă, prin topire, germaniul devine conductor, în timp ce seleniul devine izolator. Pe baza acestor fapte experimentale, Ioffe a sugerat explicaţia că poziţia celor mai apropiaţi vecini ai unui atom joacă un rol mai mare în determinarea proprietăţilor electrice ale unui corp decît repartizarea atomilor de la distanţe mai mari. Din acest punct de vedere, este mai satisfăcătoare explicarea formării benzilor prin interacţia dintre atomii vecini decît prin periodicitatea reţelei cristaline; din faptul că periodicitatea explică structura de benzi nu se poate deduce faptul că toate corpurile ce prezintă benzi de energie sînt caracterizate printr-o distribuţie periodică a atomilor. În sprijinul acestei idei, J.P. Suchet a studiat în 1961 influenţa legăturilor chimice asupra proprietăţilor semiconductoarelor şi, în particular, asupra mobilităţilor electronice. El a arătat că semiconductibilitatea intrinsecă îmbracă aspecte diferite după natura legăturilor interatomice şi a aplicat-o la numeroşi compuşi binari sau ternari. Este încă prea devreme pentru a judeca rezultatele unei astfel de teorii; ea reprezintă totuşi o tendinţă importantă în fizica semiconductoarelor.

Faptul că teoria actuală a electronilor în corpurile solide este uneori insuficientă nu este uimitor, deoarece ea se bazează pe un şir de aproximaţii. Un studiu riguros al corpurilor solide cu ajutorul mecanicii ondulatorii ar trebui să ia în considerare simultan ansamblul electronilor şi al nucleelor atomilor, devenind astfel deosebit de complicată şi laborioasă. De aceea este justificată tratarea separată a electronilor şi a nucleelor, ceea ce constituie aproximaţia lui Born-Oppenheimer sau aproximaţia adiabatică. Pentru a studia nivelele de energie electronice, ar trebui în acest caz rezolvată o ecuaţie Schrödinger pentru toţi electronii, în care ar trebui să intervină şi energia potenţială de interacţie a fiecărui electron cu nucleele presupuse fixe, precum şi cea dintre electroni. Ultimul termen fiind foarte complicat, sînt necesare alte aproximaţii; cea mai obişnuită, şi anume cea a modelului unui electron, folosită de Hartree, constă în studierea stărilor de energie posibile pentru un singur electron plasat în potenţialul nucleelor, considerînd că ceilalţi electroni nu intervin decît prin potenţialul lor mediu, obţinut prin metoda cîmpului *selfconsistent* din mecanica cuantică. Aproximaţia Hartree permite explicarea aproape a tuturor proprietăţilor corpului solid, cu excepţia forţelor de coeziune. Totuşi, ea conduce la funcţii de undă care nu satisfac principiul de excluziune al lui Pauli. Pentru a corecta acest defect, Fock a modificat aproximaţia Hartree; deşi explică mai bine coeziunea corpurilor solide şi este mai satisfăcătoare din punct de vedere teoretic, teoria Hartree-Fock este din nefericire nesatisfăcătoare în redarea anumitor proprietăţi, în particular a căldurii specifice electronice.

Acestor teorii li se poate reproşa o serie de simplificări care nu sînt totdeauna justificate. În special, în reţeaua perfectă, la zero absolut, nucleele nu intervin în studiul electronilor decît la stabilirea periodicităţii potenţialului. La temperaturi mai ridicate, mişcările ionilor sînt tratate separat, ceea ce se traduce prin existenţa fononilor; în teoria conductibilităţii electrice, aceştia sînt consideraţi ca mici perturbaţii. Admiţînd un rol mai fundamental pentru interacţiile electroni-fononi, s-a întrevăzut în sfîrşit posibilitatea rezolvării problemei supraconductibilităţii.

SUPRACONDUCTIBILITATEA. Supraconductibilitatea a fost descoperită în 1911, cînd Kamerlingh Onnes a observat faptul că rezistenţa electrică a mercurului se anulează brusc la 4,2°K. Manifestarea sa cea mai izbitoare o constituie persistenţa unui curent într-un inel supraconductor timp de mai multe zile fără să mai fie necesar un aport exterior de energie pentru a-l menţine; experienţa se efectuează prin răcirea, în prezenţa unui cîmp magnetic exterior, a unui inel de mercur sub temperatura critică, T_c (temperatura de tranziţie dintre starea normală şi starea supraconductoare); cînd acest cîmp exterior este suprimat, în inel apare prin inducţie un curent, care poate fi detectat pe baza cîmpului magnetic pe care îl produce. În 1913, Kamerlingh Onnes a observat că supraconductibilitatea încetează atunci cînd cîmpul magnetic depăşeşte o valoare critică, ce depinde de temperatură.

Prin 1930 s-a arătat că la trecerea în starea supraconductoare, căldura specifică electronică suferă o discontinuitate, în timp ce entropia rămîne continuă. Acest fapt caracterizează tranziţiile de ordinul doi, cum sînt trecerea de la paramagnetism la feromagnetism şi transformările ordine-dezordine din aliaje. Folosirea termodinamicii de către Keesom, Rutgers şi Gorter a permis lămurirea legăturii dintre diferitele proprietăţi şi a arătat că starea supraconductoare este o stare mai ordonată decît starea normală. Ea a condus la modelul celor două fluide (Gorter şi Casimir, 1934), în care este luată drept bază coexistenţa unor electroni supraconductori şi a unor electroni normali, ultimii manifestîndu-se în conductibilitatea termică şi în căldura specifică electronică.

Prima teorie fenomenologică a proprietăţilor electrodinamice a fost dată de F. şi H. London în 1934. Ea porneşte de la o observaţie efectuată în 1933 de Meissner şi Ochsenfeld: inducţia magnetică este nulă în interiorul unui supraconductor, care pare astfel că se comportă ca un diamagnetic perfect.

Această constatare contrazice rezultatul obţinut prin aplicarea ecuaţiilor electromagnetismului, ale lui Maxwell, la un corp cu conductibilitate infinită: ar fi trebuit să se găsească că inducţia magnetică este invariabilă în timp. Pentru a ţine seamă de acest fapt, London a înlocuit legea lui Ohm, care dă curentul electric, printr-o lege care exprimă proporţionalitatea curentului de supraconductibilitate cu vectorul potenţial al cîmpului magnetic. El a dedus de aici că inducţia magnetostatică nu poate pătrunde într-un supraconductor decît pe o adîncime foarte mică, de ordinul a 10^{-5} cm.

Pînă în ultimii ani, toate încercările de a găsi o explicaţie microscopică a supraconductibilităţii au fost infructuoase. În 1950, mai mulţi cercetători au observat că temperatura critică variază odată cu modificarea compoziţiei izotopice a corpului respectiv, după o lege simplă care traduce constanţa produsului $M^{1/2} \cdot T_c$ (M este masa atomică); acest fenomen pune în evidenţă rolul ionilor sau, mai exact, rolul vibraţiilor reţelei, adică al fononilor. Acest rol este confirmat de faptul că cei mai buni supraconductori sînt conductori slabi la temperatura obişnuită, adică corpuri în care interacţia electroni-fononi este importantă. Această concluzie este conformă cu teoria microscopică a stării supraconductoare, elaborată independent de Fröhlich în 1950. Această teorie se caracterizează prin apariţia, datorită interacţiilor electroni-fononi, a unui nou termen de energie în ecuaţia lui Schrödinger care guvernează mişcarea electronilor. Acest termen este echivalent cu o atracţie în spaţiul momentelor, adică tinde să concentreze vitezele electronilor în direcţii vecine. Din existenţa acestui termen, Fröhlich a dedus efectul izotopic, dar nu a regăsit toate proprietăţile caracteristice supraconductoarelor.

Realizarea experimentală cea mai importantă din ultimii ani a fost punerea în evidenţă a unei benzi de energie interzisă în supraconductoare. Această bandă interzisă se manifestă prin faptul că undele electromagnetice de joasă frecvenţă sînt reflectate de un supraconductor, în timp ce frecvenţele înalte sînt absorbite, iar tranziţia dintre cele două fenomene are loc în gama undelor milimetrice.

Acest fapt se explică prin aceea că un foton nu poate excita un electron pentru a-l obliga să depăşească banda interzisă de înălţime ΔE decît dacă frecvenţa sa este mai mare decît $\nu_0 = \Delta E/h$.

În 1957, Bardeen, Cooper şi Schrieffer au putut regăsi teoretic existenţa acestei benzi, ţinînd seamă simultan de interacţiile electroni-fononi şi de interacţiile coulombiene dintre electroni, pe care Fröhlich le neglijase. Ei au putut demonstra că la zero absolut apare o bandă interzisă situată la nivelul Fermi, în banda normală de conducţie; lărgimea acestei benzi interzise scade cînd temperatura creşte şi se anulează la temperatura critică. Pe baza existenţei acestei benzi, se întrevede posibilitatea explicării diverselor proprietăţi ale supraconductoarelor, dar teoriile sînt încă în curs de elaborare. Noi fapte experimentale apar: în 1961, diferiţi cercetători au pus în evidenţă cuantificarea fluxului magnetic al unui inel supraconductor, prevăzută deja de London în 1950.

În ciuda existenţei unor aspecte discutabile, teoria furnizează deja un criteriu de supraconductibilitate: interacţiile atractive electroni-fononi trebuie să depăşească interacţiile repulsive coulombiene. În teoria lui Bardeen, acest criteriu ia forma simplă $n\rho > 10^6$. Dat fiind rolul important al interacţiilor dintre fononi şi electroni, nu trebuie să fim uimiţi de prezenţa rezistivităţii ρ a conductorului la 20°C. Apariţia numărului mediu n de electroni de valenţă dintr-un atom este conformă unui criteriu empiric dat de Matthias în 1957.

Importanţa cunoştinţelor obţinute recent permite orientarea studiului unor noi materiale supraconductoare cu o temperatură critică mai ridicată, care admit densităţi mai mari de curent în starea supraconductoare. Descoperirea unor compuşi cum ar fi aliajele niobiu-zirconiu, niobiu-staniu şi, mai recent, vanadiu-galiu, permite obţinerea unor cîmpuri magnetice de mai multe zeci de mii de oerstezi cu ajutorul solenoizilor supraconductori: aceasta dă speranţa obţinerii cîtorva sute de mii oerstezi peste cîţiva ani. Şi alte aplicaţii ale supraconductoarelor sînt în studiu; printre acestea se numără şi realizarea unor memorii pentru maşinile electronice de calcul, pentru care „criotronul" reprezintă un prim exemplu.

Progresele recente ale fizicii supraconductoarelor arată ceea ce poate aduce o teorie mai exactă a electronilor în corpurile solide. Interacţiile coulombiene dintre electroni, care intervin în teoria lui Bardeen, Cooper şi Schrieffer, pot, de asemenea, conduce la oscilaţii ale plasmei în corpurile solide, asemănătoare cu cele pe care Langmuir le-a studiat în descărcările în gaze. Rolul lor este fundamental în teoriile lui Bohm şi Pines, sau Bogoliubov, pe care le vom aminti după ce vom descrie noile progrese în fizica gazelor ionizate, după 1950.

I. REÎNNOIREA FIZICII PLASMEI

După cercetările lui Langmuir, numeroşi cercetători au continuat să se intereseze de studiul gazelor ionizate. Aplicaţiile practice, ca redresoarele şi lămpile de iluminat cu descărcare în gaze, au întreţinut interesul studiului proceselor fundamentale (ionizare, recombinare etc.). Tuburile de comutare pentru radar au condus la studiul sistematic al descărcărilor provocate de cîmpurile de înaltă frecvenţă; M.H. Merlin şi S.C. Brown, i-au dat teoria în 1948. După ce a fost descoperită ionosfera, studiul influenţei sale asupra propagării undelor a furnizat un important aport la teoria gazelor ionizate. În sfîrşit, astrofizicienii se interesează şi ei de mult timp de gazele ionizate, deoarece cea mai mare parte a universului este formată din plasmă şi mai ales din stele; astrofizicienilor li se datoreşte o nouă ramură a teoriei plasmei — magnetohidrodinamica.

Studiul mediilor ionizate a cunoscut o dezvoltare spectaculoasă după 1950. Această revenire a interesului se datoreşte în primul rînd importanţei programelor de cercetări efectuate asupra fuziunii termonucleare controlate în scopul domesticirii energiei bombei cu hidrogen. Fuziunea controlată — care ar reproduce pe Pămînt mecanismele prin care stelele îşi produc energia lor — se poate realiza în medii la temperaturi foarte ridicate şi deci complet ionizate;

se consideră că pentru a obţine o reacţie termonucleară ar fi necesară realizarea unei plasme cu o densitate de electroni de ordinul a 10^{15} particule pe cm^3 şi o temperatură ionică de ordinul a o sută de milioane de grade, în timp ce într-o descărcare în gaze obişnuită există o densitate electronică de ordinul a 10^{11} electroni pe cm^3, la o temperatură electronică de 20 000°, temperatura ionică fiind mult mai joasă. Insuccesul primelor dispozitive experimentale realizate pentru a încerca să se obţină fuziunea controlată a dovedit insuficienţa cunoştinţelor noastre asupra mediilor ionizate şi a condus pe cercetători la aprofundarea fizicii plasmei

Cercetările spaţiale au furnizat un alt stimulent. S-a observat de la început că rachetele sînt înconjurate de un strat ionizat în momentul în care reintră în atmosferă, ceea ce perturbă considerabil legăturile lor radioelectrice cu solul. Au apărut şi propuneri privind realizarea propulsiei ionice a rachetelor şi sateliţilor. În sfîrşit, noile mijloace de explorare a spaţiului au dovedit existenţa centurilor ionizate în jurul Pămîntului (centurile Van Allen); ele ne-au dovedit că ionosfera se extinde mult mai departe decît se bănuia şi au dat posibilitatea de a-i măsura direct caracteristicile. Pentru a aprecia varietatea tipurilor de plasmă din spaţiu, vom sublinia că ionosfera conţine aproximativ 10^6 electroni pe cm^3, la temperatura de 2000°, în timp ce interiorul stelelor pitice albe este o plasmă de 10^{32} electroni pe cm^3, la temperatura de zece milioane de grade.

MAGNETOHIDRODINAMICA. Magnetohidrodinamica a apărut din necesitatea de a explica proprietăţile imenselor volume de plasmă din univers. Această ştiinţă se aplică unui mediu conductor electric, fie lichid, fie gaz ionizat. Considerînd mediul continuu, această ştiinţă îi aplică ecuaţiile mecanicii fluidelor. Mai general, ea studiază mişcarea unui fluid conductor în prezenţa unui cîmp magnetic.

> Cowling caracterizează magnetohidrodinamica astfel:
>
> „Curenţii electrici induşi în fluidul în mişcare modifică cîmpul, în timp ce fluxul acestor curenţi în cîmp conduce la apariţia unor forţe mecanice care modifică mişcarea. Interesul şi dificultatea magnetohidrodinamicii constă exact în această interacţie cîmp-mişcare" (T.W. Cowling, *Magnetohydrodynamics*).

Pentru a ţine seamă de aceste proprietăţi electromagnetice, ecuaţiile mecanicii fluidelor sînt completate cu ecuaţiile lui Maxwell, neglijîndu-se, în general, curentul de deplasare, deoarece nu ne interesează fenomenele de înaltă frecvenţă.

Pe aceste baze, se stabilesc proprietăţi importante ale cîmpului magnetic. În cazul materiei în repaus, cîmpul magnetic difuzează cu atît mai rapid cu cît mediul este mai mic: după Cowling şi Elsasser, timpul de difuzie este mai mic de zece secunde pentru o sferă cu raza de un metru şi este de 10^{10} ani pentru cîmpul magnetic solar global. Astfel, în masele cosmice, care se comportă ca fluide perfect conductoare în mişcare, materia antrenează liniile de cîmp magnetice, care sînt ca „îngheţate" în ea. Aceste proprietăţi au fost folosite pentru a elabora teoria cîmpurilor magnetice terestre şi stelare.

Un important capitol al acestei ştiinţe este rezervat studiului stărilor de echilibru şi stabilităţii lor. Studiul echilibrului petelor solare, efectuat de Alfvén

(1943), şi cel al braţelor spirale ale galaxiilor, efectuat de Chandrasekhar şi Fermi (1953), sînt exemple concludente.

În 1942, Alfvén a arătat — în cadrul magnetohidrodinamicii — că undele transversale de foarte joasă frecvenţă se pot propaga în plasmă în prezenţa cîmpului magnetic. Cîmpul magnetic produce, într-adevăr, o tensiuue de-a lungul liniilor de forţă care conduce, ca şi în teoria corzilor vibrante, la o propagare a undelor de-a lungul acestor linii. Existenţa acestor unde a fost pusă în evidenţă experiemental de Lundquist şi Lehnert, care au folosit mercurul drept fluid conductor, şi de Bostick şi Levine, cu ajutorul unui gaz ionizat.

Cercetările îndreptate spre producerea fuziunii termonucleare controlate au condus la realizarea în laborator a unor aparate al căror studiu aparţine magnetohidrodinamicii. Pentru a obţine o densitate mare a plasmei la o temperatură foarte ridicată, trebuie evitat orice contact cu pereţii — unde ar avea loc o răcire a plasmei şi recombinări. În acest scop, se încearcă să se îngrădească plasma într-un tub nematerial format din liniile de cîmp magnetice, adică se caută să se echilibreze presiunea materiei printr-o presiune magnetică. Prima idee a fost de a realiza plasma sub forma unei descărcări în gaze de o intensitate foarte mare şi de a folosi cîmpul magnetic produs de curentul din plasmă pentru a o confina: este uşor de văzut că forţa exercitată asupra sarcinilor în mişcare produce un efect de „stricţiune“ a descărcării în gaz. S-a constatat curînd însă că acest efect este insuficient pentru a confina o plasmă termonucleară. Plasma s-a dovedit extrem de capricioasă şi, în loc să ia forme simple, cilindrice sau inelare, preferă formele cele mai originale, de cîrnaţi, de coturi sau de elici; magnetohidrodinamica explică această comportare şi furnizează unele criterii de stabilitate, care au fost folosite în noile instalaţii termonucleare ca stellaratorii sau instalaţiile cu oglinzi magnetice.

În timp ce cercetările asupra fuziunii sînt continuate cu asiduitate, a fost propus un nou tip de generator pentru transformarea directă a energiei cinetice în energie electrică: acesta este cunoscut sub numele de generator M.H.D. (magnetohidrodinamic). Se ştie că un cîmp magnetic exercită forţe de sens contrar asupra electronilor şi ionilor pozitivi dintr-o plasmă în mişcare. Se foloseşte această proprietate pentru a separa electronii de ionii dintr-o plasmă emisă cu mare viteză şi pentru a produce un curent electric într-un circuit de utilizare. Numeroase cercetări sînt în curs pentru a pune la punct generatorul M.H.D., care a apărut din aplicarea legilor inducţiei asupra unui mediu ionizat în mişcare, după cum alternatoarele clasice reprezintă aplicarea aceloraşi legi la conductorii solizi.

TEORIA MICROSCOPICĂ A PLASMEI. În timp ce magnetohidrodinamica este, în esenţă, o teorie macroscopică, în care gazul ionizat este considerat drept un fluid continuu, caracterizat de parametri ca viscozitatea şi conductibilitatea sa, o teorie mai aprofundată încearcă să explice proprietăţile plasmei prin studiul statistic al mecanismelor ce se produc la scară microscopică.

Gazul ionizat este definit în acest caz ca fiind format, pe de o parte, din molecule neutre, iar pe de alta, din electroni şi din ioni a căror sarcină electrică totală este nulă. În condiţii obişnuite, plasma unui gaz ionizat nu este degenerată în sensul teoriilor cuantice, iar statistica clasică reprezintă o aproximaţie suficientă pentru studiul ei. În forma sa cea mai avansată, mecanica statistică defineşte starea acestui sistem de particule printr-un punct într-un spaţiu cu un număr mare de dimensiuni, care dă poziţiile şi vitezele fiecărei particule, adică $6N$ dimensiuni pentru N particule. Evoluţia sistemului în timp este descrisă de ecuaţia lui Liouville din mecanica analitică. După 1946, Born, Green, Kirkwood, Bogoliubov şi Yvon au arătat cum poate fi dedusă o ecuaţie de evoluţie pentru o mărime mai simplă, funcţia de distribuţie, care nu face să intervină alte coordonate decît viteza şi poziţia unei singure particule, precum şi timpul. În această ecuaţie intervin interacţiile dintre particulele apropiate. În cazul gazelor neutre, aceasta este ecuaţia lui Boltzmann, care a fost deja stabilită în condiţii mai puţin riguroase şi pe care am mai întîlnit-o în teoria lui Lorentz asupra electronilor liberi din metale. Aceeaşi ecuaţie se aplică şi electronilor din gazele puţin ionizate, în care predomină ciocnirile dintre electroni şi moleculele neutre. Din ea se deduce conductibilitatea lor electrică în funcţie de frecvenţa cîmpului electric aplicat, precum şi ecuaţiile macroscopice privind conservarea numărului de particule (ecuaţia de continuitate din mecanica fluidelor), conservarea cantităţii de mişcare şi ecuaţia de transport a căldurii.

În realitate, studiul operatorului de ciocniri al lui Boltzmann se dovedeşte extrem de complicat, chiar în cazul gazului Lorentz perfect, adică în cazul modelului teoretic în care masa moleculelor este considerată infinit de mare faţă de cea a electronilor. (Acest model a fost introdus de Lorentz în 1905, în studiul conductibilităţii electrice a solidelor). Se poate arăta că operatorul Boltzmann admite ca funcţii proprii funcţiile sferice, adică o familie de funcţii cu doi indici care corespund unor anizotropii cu atît mai pronunţate, cu cît indicii sînt mai mari. Pornind de la o funcţie de distribuţie arbitrară a electronilor în spaţiul vitezelor, se arată atunci că, prin ciocniri cu moleculele presupuse în echilibru termic, anizotropiile iniţiale se amortizează în timp: la echilibru, vitezele electronilor se repartizează izotrop. Fiecare anizotropie se caracterizează printr-un timp de relaxare, sau prin inversa sa, numită „frecvenţă de relaxare". Pentru o lege de interacţie oarecare între electroni şi molecule, frecvenţa de relaxare a anizotropiei celei mai simple este cea care generalizează noţiunea de frecvenţă a ciocnirilor; tot ea este cea care intervine în expresia conductibilităţii.

În modelul gazului Lorentz perfect, orice distribuţie izotropă a vitezelor reprezintă o distribuţie de echilibru, deoarece ciocnirile nu modifică energia particulelor, ci numai direcţia vitezelor lor. Pentru a vedea cum evoluează componenta izotropă a funcţiei de distribuţie, trebuie ţinut seamă de faptul că raportul m/M dintre masa electronilor şi cea a moleculelor nu este nul, deşi este foarte mic (modelul gazului Lorentz imperfect). În acest caz, se găseşte că distribuţia vitezelor corespunzătoare echilibrului termic este tocmai distribuţia maxwelliană la temperatura moleculelor.

În descărcările în gaze, se observă adesea că electronii au o distribuţie maxwelliană a vitezelor la temperaturi mult mai ridicate decît cele ale moleculelor. Pentru a explica aceste fapte, este necesară luarea în considerare a interacţiilor reciproce ale electronilor; distanţa mare la care acţionează forţele coulombiene explică faptul că echilibrul termic se stabileşte între electroni, înainte ca ei să intre în echilibru termic cu moleculele; electronii obţin o temperatură mai ridicată deoarece cîmpul electric le transmite o energie pe care ei o cedează în mică măsură în ciocnirile cu moleculele, mult mai grele decît ei.

Este şi mai dificil să se elaboreze o teorie a gazelor complet ionizate, care formează plasma termonucleară. Forţele de interacţie dintre particule sînt forţe coulombiene, care introduc dificultăţi din cauza marei lor raze de acţiune. În acest caz, ciocnirile dintre particule sînt descrise cu ajutorul „coeficienţilor de difuzie", introduşi de Chandrasekhar în 1943, în studiul difuziei galaxiilor. În acest scop, se ia în considerare un fascicul de particule „probă", care lovesc particulele ţintă, şi se studiază încetinirea şi dispersia vitezelor lor. Pe baza coeficienţilor de difuzie, care caracterizează aceste fenomene, Spitzer a definit constantele de timp — timp de încetinire şi timp de deviere — care determină viteza de revenire la echilibrul termodinamic. De asemenea, în plasma complet ionizată nu se poate folosi ecuaţia Boltzmann, care consideră ciocnirile ca fenomene binare; ea trebuie înlocuită cu o ecuaţie dedusă din considerente pur statistice, adică ecuaţia Fokker-Planck, în care intervin coeficienţii de difuzie. Această ecuaţie a fost folosită pentru a determina timpul de stabilire a unei distribuţii maxwelliene a vitezelor electronilor (sau ionilor) în urma propriilor lor interacţii. Spitzer a dedus din aceasta conductibilităţile electrice şi termice ale unei plasme complet ionizate.

În problemele privind interacţia particulelor din plasmă, un rol esenţial joacă lungimea Debye, pe care am mai întîlnit-o în teoria electroliţilor. În realitate, ea traduce legăturile dintre poziţiile particulelor, care au fost studiate riguros de către Yvon cu ajutorul funcţiilor de distribuţie multiple, a căror evoluţie se deduce din ecuaţia Liouville.

Toate aceste teorii subtile nu au numai un interes speculativ. Ele permit lămurirea unor noţiuni macroscopice, ca presiunea sau mobilitatea electronilor şi a ionilor; ele furnizează rezultate interesante asupra conductibilităţii electrice şi termice, ca şi asupra viscozităţii. În sfîrşit, ele stabilesc, pe baze serioase, ecuaţiile macroscopice, cu ajutorul cărora este fundamentată magnetohidrodinamica şi teoria undelor în plasmă.

UNDELE ÎN PLASMĂ. Am văzut că Langmuir şi Tonks au arătat că plasma poate fi sediul unor oscilaţii electronice cu o frecvenţă numită „frecvenţa plasmei", $f_p=9000\sqrt{n}$ (exprimată în hertzi, dacă n este numărul de electroni pe cm^3). În absenţa agitaţiei termice, aceste oscilaţii nu s-ar propaga în plasmă, dar în urma mişcării browniene a electronilor, ele se propagă sub forma unei unde longitudinale numită „undă electronică", sau „undă de sarcină spaţială".

În 1946, Landau a arătat că agitaţia termică, dacă asigură transportul oscilaţiilor, produce şi amortizarea lor. Într-un studiu intitulat *Theory of Plasma Oscillations: Origin of Mediumlike Behavior* (1949), Bohm şi Gross au lămurit, printr-o analiză microscopică, mecanismul care coordonează mişcarea electronilor şi dă naştere unei comportări colective: într-o plasmă, forţele coulombiene cu rază mare de acţiune constituie originea mişcării, în timp ce propagarea undelor sonore într-un gaz sau lichid este legată de ciocnirile particulelor neutre şi de forţele interatomice de distanţă scurtă. În undele electronice, ionii nu sînt practic puşi în mişcare. În măsura în care ionii pot avea o comportare colectivă, există şi oscilaţii ionice ale plasmei; de aici rezultă o undă ionică care prezintă, la frecvenţe joase, caracterele unei unde sonore.

Alături de aceste unde longitudinale, în plasmă pot exista şi unde transversale, în care mişcarea alternativă a particulelor, ca şi componentele alternative ale cîmpurilor electrice şi magnetice, sînt perpendiculare pe direcţia de propagare a undei.

Aceste unde intervin în explicarea influenţei ionosferei asupra propagării undelor radioelectrice: la frecvenţele astfel puse în joc se poate neglija mişcarea ionilor; se poate neglija, de asemenea, agitaţia termică a electronilor. Cu aceste aproximaţii, Appleton şi Hartree au stabilit „teoria magnetoionică a ionosferei“ (1927—32). În prima teorie a reflectării undelor pe ionosferă, Watson o asimila cu o sferă conductoare, în timp ce mecanismul pus în joc era cel al reflexiei metalice; studiul conductibilităţii plasmei arată însă că acest fapt nu este adevărat decît la unde foarte lungi, la frecvenţe mai mici decît frecvenţa ciocnirilor dintre electroni şi molecule. În 1912, Eccles a propus intervenţia refracţiei pe pături dielectrice de indice de refracţie variabil, ca în explicaţia mirajului. Acest punct de vedere a fost adoptat în urma publicării lucrărilor lui Larmor, în 1924. Într-adevăr, la frecvenţe mai mari decît frecvenţa ciocnirilor, plasma se comportă ca un dielectric cu indice de refracţie $1 - f_p^2/f^2$ (f, frecvenţa undei; f_p, frecvenţa plasmei); la frecvenţe mai mici decît f_p, undele nu se mai pot propaga şi suferă o reflexie totală. Faptul că indicele poate fi mai mic ca unitatea, spre deosebire de cazul celorlalţi dielectrici, poate fi explicat în teoria Lorentz a dielectricilor: într-un dielectric veritabil, electronii sînt atraşi spre o poziţie de echilibru de o forţă de atracţie care impune o frecvenţă caracteristică; în plasmă, electronii sînt liberi, ceea ce este echivalent cu afirmaţia că această frecvenţă caracteristică este frecvenţa zero.

Prezenţa unui cîmp magnetic static complică fenomenele: plasma devine anizotropă, iar constanta sa dielectrică trebuie să fie înlocuită printr-un tensor dielectric, introdus de Nichols şi Schelleng în 1925 şi care poate fi considerat şi ca un tensor al conductibilităţii, deoarece leagă curentul total de cîmpul electric. În acest caz, se găseşte ca rezultat faptul că o undă ordinară şi o undă extraordinară, polarizate circular în sensuri opuse, se pot propaga cu viteze diferite. Un rol esenţial în proprietăţile plasmei îl joacă frecvenţa de rezonanţă ciclotronică, f_c, adică frecvenţa naturală de rotaţie a electronilor în jurul liniilor de cîmp magnetic (care verifică relaţia $f_c = 2{,}8\ H$, în care cîmpul magnetic H se exprimă în oerstezi, iar frecvenţa f_c, în megahertzi).

Dacă se ţine seama de mişcarea ionilor, care joacă un rol important în domeniul frecvenţelor joase, apare o frecvenţă ciclotronică ionică. La frecvenţe foarte joase, undele ordinare şi cele extraordinare se unesc pentru a forma unda Alfvén din magnetohidrodinamică; mişcările ionilor şi cele ale electronilor au o importanţă egală în originea undei Alfvén.

Un studiu sintetic al acestor diferite tipuri de unde dintr-o plasmă infinită a fost prezentat în 1960 de Delacroix şi de Denisse, care au ţinut seamă şi de agitaţia termică. Aceşti autori au considerat şi cazul în care undele se propagă într-o direcţie înclinată faţă de cîmpul magnetic; în acest caz, nu mai apar unde pur longitudinale sau pur transversale, ci o cuplare între aceste diferite tipuri de unde. În aproximaţia Appleton-Hartree, aceşti autori regăsesc undele cvasi-longitudinale şi cvasi-transversale, introduse de Booker în teoria ionosferei.

Studiul undelor în plasma de dimensiuni finite şi în plasma din ghidurile metalice goale în interior este şi mai complicat. În acest caz, undele nu mai sînt, în general, pur „transversal electrice“ sau „transversal magnetice“ ca în ghidurile clasice de microunde. Studiul lor a fost efectuat în paralel cu cel al undelor din ferite, care sînt medii caracterizate printr-un tensor de permeabilitate magnetică, în timp ce plasma are un tensor dielectric. Studiul general trebuie efectuat de acum înainte, dar rezultate interesante au fost deja obţinute de W. P. Allis şi de Smullin şi Chorney în 1958. În acelaşi an, R. Gould şi Trivelpiece au arătat că ghidurile metalice ce conţin plasmă, pot ghida, în prezenţa unui cîmp magnetic, undele lente ca şi circuitele cu tuburi cu undă progresivă.

În afară de aplicaţiile la propagarea ionosferică, de rolul undelor de sarcină spaţială — pe care le vom aminti — teoria undelor în plasmă are aplicaţii importante în studiul experimental al plasmei prin intermediul microundelor. Măsurătorile de absorbţie, de defazare, de reflexie, de rotaţie a planului de polarizare a undelor, constituie calea cea mai sigură de determinare a caracteristicilor plasmei.

RADIAŢIA PLASMEI. Plasma nu reprezintă numai un mediu pasiv, în care se pot propaga unde electromagnetice. Ea poate, de asemenea, radia energie, prin diverse mecanisme: efect Cerenkov, radiaţie de frînare, radiaţie giromagnetică, emisie de lumină de către moleculele excitate prin ciocniri.

În 1934, Cerenkov a descoperit emisia luminii în lichidele plasate în vecinătatea unei surse radioactive. Frank şi Tamm au arătat, în 1937, că acest „efect Cerenkov“ se datoreşte radiaţiei unei particule încărcate, a cărei viteză este superioară vitezei de fază a luminii în mediul pe care ea îl traversează. Acest fenomen poate apărea la frecvenţe radioelectrice, iar G. Mourier a arătat, în 1956, strînsa sa legătură, în cazul unui mediu dielectric limitat, cu mecanismul din tubul cu undă progresivă. Într-o plasmă anizotropă, datorită unui cîmp magnetic, acest fenomen prezintă aspecte speciale, care au fost studiate în 1956 de Kolomenski şi Sitenko.

Formulele radiaţiei electromagnetice a unui electron frînat au fost stabilite de Lienard în 1898 şi Wiechert în 1900. Ele permit calculul radiaţiei unui electron în urma ciocnirii cu un ion şi, prin urmare, energia totală radiată prin frînarea electronilor în plasmă. În 1958, Trubnikov şi Kudreaţev au folosit formulele Lienard-Wiechert pentru a calcula radiaţia giromagnetică a plasmei. Acest studiu prezintă importanţă practică, deoarece pierderea de energie prin radiaţie limitează încălzirea norilor atomici şi a plasmei termonucleare.

Cînd electronii din plasmă se găsesc în echilibru termodinamic, caracterizat printr-o distribuţie maxwelliană a vitezelor lor, radiaţia pe care o emit într-o bandă a spectrului este o radiaţie a corpului negru. În afară de acest echilibru, studiul radiaţiei globale a plasmei constituie o problemă dificilă; el a fost abordat în 1961 de Bekefi, Hirshfield şi Sanborn.

Producerea luminii de ionii şi moleculele excitate prin ciocniri a atras de mult atenţia cercetătorilor. Pe lîngă interesul practic, studiul său este interesant din punct de vedere al mijloacelor experimentale de cercetare a plasmei. Studiul lărgirii liniilor spectrale prin efect Doppler şi prin efect Stark permite determinarea caracteristicilor esenţiale ale plasmei. Acest studiu se adaugă, în arsenalul experimentatorilor, la metoda sondelor lui Langmuir şi la explorarea plasmei cu ajutorul microundelor.

UNDELE ÎN FASCICULELE DE ELECTRONI. TUBURILE PENTRU MICROUNDE ŞI PLASMA. Deşi, prin definiţie, plasma este compusă din particule pozitive şi negative care formează, în medie, un mediu electric neutru, proprietăţi analoage se întîlnesc şi la alte medii. Acesta este cazul fasciculelor electronice.

Legătura esenţială a acestora cu plasma rezidă în rolul oscilaţiilor sarcinii spaţiale. Antrenate la viteza medie a electronilor din fascicul, acestea se traduc prin unde de sarcină spaţială, a căror existenţă a fost demonstrată de W. Hahn şi S. Ramo încă din 1939. J.R. Pierce a arătat, în 1954, că proprietăţile tuburilor de microunde se pot deduce din studiul cuplării undelor elementare ce se propagă pe un fascicul electronic şi pe o linie. Această teorie a cuplării undelor a fost justificată de Haus cu ajutorul unei metode de perturbaţie folosită în rezolvarea ecuaţiilor Maxwell. Ea formează baza mai multor lucrări moderne asupra funcţionării tuburilor de microunde, apărute mai ales în literatura anglo-saxonă de specialitate. Ea aduce puncte de vedere noi asupra mecanismelor amplificării şi instabilităţilor. Printre altele, ea poate descrie fenomenele de modulare a vitezei şi a intensităţii, pe care le-am întîlnit la clistron, folosind undele de sarcină spaţială.

Aceste noţiuni au permis înţelegerea mecanismului zgomotului din tubul cu undă progresivă. În teza sa din 1951, Watkins admitea că fluctuaţiile datorate emisiei electronice se propagă pe fascicul prin unde de sarcină spaţială; această teorie a fost verificată experimental. Perfecţionată de mai mulţi autori, ea a permis în 1961 realizarea unor tuburi cu o temperatură de zgomot de aproximativ 300°K, la lungimi de undă de 10 cm, în timp ce în 1950, această temperatură era de 300 000°K. Aceste rezultate au permis îmbunătăţirea deosebită a receptoarelor de microunde, cu dificultăţi practice mai mici decît în cazul utilizării maserilor, sau a amplificatoarelor parametrice.

Totuşi, în faţa ofensivei amplificatoarelor cu zgomot slab, realizate cu dispozitive bazate pe corpul solid, specialiştii în tuburi de microunde trebuia să reacţioneze. Ei dispuneau de un mediu neliniar, fasciculul electronic, capabil să fie modulat la frecvenţe foarte înalte. Prima propunere pentru utilizarea sa într-un amplificator parametric a fost făcut de Bridges în februarie 1958. Încercările lui Ashkin, Louisell şi Quate de a utiliza undele de sarcină spaţială au permis obţinerea unei amplificări, dar nu şi o temperatură de zgomot scăzută. Dimpotrivă, folosind rezonanţa ciclotronică, Adler a realizat în 1958 un tub excepţional, care nu necesita decît o tensiune de alimentare de 6 volţi şi dădea o temperatură de zgomot de circa 300°K. Este uimitor că acest lucru a fost obţinut cu ajutorul unor electroni emişi de un catod la o temperatură mai mare de 1000°K. În realitate, în amplificatoarele parametrice cu fascicul electronic, mai întîi se extrage zgomotul din fascicul, la frecvenţa de utilizare. Fasciculul electronic se găseşte astfel într-o stare foarte depărtată de echilibrul termodinamic, dar temperatura de zgomot se mai poate defini şi prin comparaţie cu zgomotul termic. Din acest punct de vedere, Ashkin a putut micşora temperatura de zgomot a unui fascicul electronic pînă la aproximativ 50°K, într-un tub parametric cu undă ciclotronică, pentru lungimea de undă de 7,5 cm.

Realizările lui Adler şi Ashkin au atras atenţia asupra rezonanţei ciclotronice a electronilor dintr-un fascicul introdus într-un cîmp magnetic şi asupra existenţei de unde diferite de undele de sarcină spaţială, denumite „unde ciclotronice“, care reprezintă echivalentul undelor transversale din plasmă.

Deoarece o plasmă poate servi drept suport unei unde lente, ea poate înlocui circuitul elicoidal din tubul cu undă progresivă. Gould şi Trivelpiece, în 1958, şi apoi numeroşi alţi autori au pus efectiv în evidenţă un fenomen de amplificare într-un sistem plasmă-fascicul electronic. Mecanismul său este apropiat de cel al funcţionării dintr-un tub amplificator, inventat de A. Haeff în 1949, în care amplificarea este produsă de interacţia a două fascicule electronice amestecate, dar de viteze diferite. În acest fenomen se poate găsi şi o explicaţie posibilă pentru producerea undelor radioelectrice de joasă frecvenţă, în exosferă. El constituie o sursă de instabilităţi şi de radiaţii în plasma termonucleară.

PLASMA ÎN SOLIDE. Am văzut că teoria clasică a electronilor în corpurile solide neglijează aproape complet propriile lor interacţii. După 1951, Bohm şi Pines au adoptat punctul de vedere opus, considerînd că interacţiile joacă rolul esenţial; acest punct de vedere este justificat, dacă este necesară explicarea fenomenelor în care reţeaua cristalină intervine în mică măsură.

Studiul comportării colective a electronilor în solide prezintă caractere diferite de cel al electronilor unui gaz ionizat: într-adevăr, densitatea electronică în solide este de ordinul a 10^{23} electroni pe cm^3, iar temperatura electronică este relativ scăzută (aproximativ 300°K). Astfel, electronii dintr-un solid formează un gaz „degenerat“, care trebuie studiat cu metodele mecanicii cuantice. Din punct de vedere calitativ, fenomenele sînt totuşi de aceeaşi natură ca în plasma cu gaze ionizate.

Fenomenul cel mai important îl constituie existenţa vibraţiilor colective. Datorită marii densităţi electronice, frecvenţele vibraţiilor plasmei se situează în gamele infraroşie, vizibilă sau ultravioletă. Cuanta de energie hf_p, corespunzătoare unei astfel de vibraţii, este denumită „plasmon“ şi are valoarea de aproximativ 10 electronvolţi; de aceea, agitaţia termică este insuficientă pentru a-l excita. În schimb, excitarea vibraţiilor plasmei explică un alt fenomen, observat încă din 1941 de Ruthemann: traversînd o peliculă metalică subţire, un fascicul de electroni acceleraţi la cîteva zeci de mii de volţi poate suferi pierderi de energie care nu pot fi explicate prin excitarea electronilor individuali, ca în cazul experienţei lui Franck şi Hertz. Astfel de experienţe permit măsurarea energiei plasmonilor în corpurile solide. Ele au fost efectuate nu numai cu ajutorul metalelor, ci şi cu al semiconductoarelor, şi chiar cu al izolatorilor.

Celălalt aspect al comportării colective a electronilor dintr-un corp solid îl constituie formarea unui nor Debye în jurul fiecărui electron; acest nor formează un ecran electrostatic care limitează distanţa de acţiune a forţelor coulombiene. Forţele coulombiene astfel atenuate sînt cele care intervin în teoria supraconductoarelor a lui Bardeen, Cooper şi Schrieffer. Luîndu-le în considerare, Bohm şi Pines i-au adus îmbunătăţiri faţă de teoria corpului solid a lui Hartree-Fock, în privinţa forţelor de coeziune şi a căldurii specifice electronice. Şi calculul conductibilităţii şi constantei dielectrice a anumitor solide poate fi perfecţionat.

Faptul că un plasmon nu poate fi excitat decît în condiţii excepţionale, datorită energiei sale ridicate, împreună cu formarea unui ecran Debye, explică de ce teoria cu un electron a lui Hartree a cunoscut atîtea succese. Teoria modelului colectiv precizează, de asemenea, limitele acesteia, punînd într-o lumină nouă rolul electronilor în solide. Importantele contribuţii ale sovieticilor Bogoliubov, Klimontovici şi Silin, ca şi ale francezului Nozières, la dezvoltarea acestei teorii, subliniază caracterul internaţional al progresului ştiinţific în lumea modernă.

J. TRECEREA DE LA UNDELE RADIOELECTRICE LA UNDELE LUMINOASE

PRODUCEREA UNDELOR SUBMILIMETRICE. Folosirea microundelor drept mijloc experimental de studiu al plasmei a reînnoit interesul pentru undele milimetrice. Cedînd tendinţei care îi împingea spre frecvenţe din ce în ce mai înalte, radioelectricienii se şi interesaseră de ele. Totuşi, deşi posibilităţile de transmitere prin ghidurile de undă milimetrice oferă perspective bune, condiţiile nesatisfăcătoare de propagare a acestor unde în atmosferă şi dificultatea fabricării tuburilor oscilatoare au limitat efortul exploatării lungimilor de undă mai mici decît 8 mm. În timp ce Cleeton şi Williams au reuşit, în 1936, să producă o lungime de undă de 6 mm, folosind un magnetron, a fost necesar să se aştepte pînă în 1958 pentru ca un grup de cercetători de la Universitatea din Columbia să obţină 2 mm cu un tub de acelaşi tip. De asemenea, deşi J. Lafferty realizase în 1946 un clistron care furniza lungimea de 4 mm, abia în 1960 B. Van Iperen a descris un clistron pentru unde de 2,5 mm. Specialiştii în plasmă au stimulat efortul cercetării în acest domeniu, avînd argumentul decisiv al unor bugete ridicate; în acelaşi timp au apărut preocupări noi pentru studiul propagării undelor milimetrice în atmosferă. În ultimii ani, progresele au fost rapide. În 1957, A. Karp a atins lungimea de undă de 1,5 mm cu ajutorul unui oscilator cu unda inversă, asemănător carcinotronului. Recordul a fost stabilit în 1961 de G. Convert şi Yéou-Ta, care au construit în Franţa un carcinotron pentru lungimea de undă de 0,7 mm şi au pătruns astfel adînc în gama submilimetrică. Tuburile pentru microunde şi-au atins totuşi limita spre frecvenţe înalte. Interacţia electronilor cu cîmpul electromagnetic trebuie să se producă în volume cu atît mai mici cu cît lungimea de undă este mai mică; deoarece această operaţie are loc cu un randament slab, este necesar să se cheltuiască cantităţi mai mari de căldură. De aceea, realizarea acestor tuburi impune performanţe extraordinare, deşi principiul lor rămîne valabil şi în domeniul undelor submilimetrice.

Mai mulţi autori au încercat să modifice tuburile pentru microunde în scopul depăşirii acestor limitări tehnologice. Pantell a propus în 1959 construirea unui tub care să folosească rezonanţa ciclotronică a electronilor într-un cîmp magnetic; circuitul periodic al tuburilor cu undă progresivă este înlocuit printr-un ghid neted, mai uşor de prelucrat. Tot la rezonanţa ciclotronică apelează şi dispozitivul cu cîmpuri electric şi magnetic încrucişate al lui A. Reddish ca şi „tornadotronul" lui G. Weibel. Producerea undelor submilimetrice de către electroni la rezonanţă ciclotronică presupune existenţa unor cîmpuri magnetice extrem de intense. Fără a recurge la artificii tehnice, ar fi necesar un cîmp magnetic de un milion de oerstezi pentru a obţine lungimea de undă de 0,1 mm. De aceea, electroniştii urmăresc cu interes progresele realizate recent în producerea cîmpurilor magnetice intense, în special pe baza descoperirii noilor materiale supraconductoare. S-a sugerat şi folosirea generatoarelor de armonice, bazate pe diferite efecte neliniare şi pe utilizarea semiconductoarelor, a feritelor, a plasmei sau a fasciculelor de electroni. Este dificil să prevedem viitorul acestor dispozitive, dintre care unele vor extinde poate gama frecvenţelor produse pînă acum.

În studierea generatoarelor submilimetrice, radioelectroniştii se dovedesc deosebit de exigenţi. Ei ştiu că devenind „stăpînii fazei“ unei unde sinusoidale, au putut asigura radioelectricităţii dezvoltarea ei excepţională. De aceea, ei încearcă să obţină o undă cît mai apropiată posibil de o sinusoidă ideală, căreia să-i poată comanda amplitudinea, frecvenţa şi — dacă este posibil — faza; avînd în vedere tocmai acest ideal, ei pot vorbi de unde coerente — zgomotul termic reprezentînd tipul însuşi al emisiei incoerente. În această perspectivă sursele obişnuite de infraroşii nu-i mai satisfac, ca şi dispozitivul lui Nichols şi Tear (vezi p. 275) şi încearcă să extindă la gama undelor submilimetrice scopul pe care radioelectricitatea se pare că şi l-a propus încă de la începutul secolului: pornind de la frecvenţele joase, să producă unde coerente la frecvenţe din ce în ce mai ridicate.

GENERATOARELE RELATIVISTE. Încă din 1947, sovieticul V. Ghinsburg a propus utilizarea radiaţiei directe a electronilor cu viteze foarte mari pentru a obţine lungimi de undă foarte scurte. Cîţiva ani mai tîrziu, P. Coleman a studiat posibilitatea folosirii efectului Doppler-Fizeau pentru a obţine o radiaţie cu o frecvenţă superioară celei a vibraţiilor electronilor. Această idee a fost pusă în aplicare de H. Motz, W. Thon şi R. Whitehurst, după 1951, în „ondulatorul“ realizat de ei: cu ajutorul electronilor furnizaţi de un accelerator liniar, electroni care parcurgeau o traiectorie sinusoidală sub acţiunea unui cîmp magnetic transversal, ei au obţinut lumină vizibilă cu polarizarea şi culoarea aşteptată. Există şi o altă cale pentru a utiliza electroni relativişti, cea a radiaţiei Cerenkov, preconizată de Abele în 1952. Această cale a fost urmată de S. Smith şi Purcell, care au produs lumină vizibilă în anul următor, trecînd un fascicul de electroni de 300 000 eV printr-o reţea metalică.

Lumina astfel produsă nu era, de fapt, coerentă. În generatoarele relativiste, condiţia de coerenţă este ca electronii să fie grupaţi în pachete de mici dimensiuni în raport cu lungimea de undă ce trebuie produsă: fiecare pachet radiază în acest caz ca un „electron mare“. Pentru a realiza această condiţie, fasciculul trebuie premodulat, iar dispozitivul funcţionează în acest caz ca generator de armonice. În acest mod, în 1953 au fost obţinute radiaţii coerente cu lungimea de undă de 8 mm de către Danos, Geschwind, Lashinsky şi Van Trier cu ajutorul unui dispozitiv cu efect Cerenkov; de către Motz, în 1953, cu ajutorul unui ondulator; de către Coleman şi Sirkis, în 1957, cu ajutorul unui „rebatronharmodotron“ realizat de ei. În ciuda acestor rezultate, folosirea generatoarelor relativiste în domeniul undelor submilimetrice se anunţă extrem de dificilă.

Pentru a obţine rezultate decisive în această gamă, pare necesară renunţarea la anumite circuite folosite pentru microunde, în favoarea unor elemente adoptate din optică, după o direcţie de cercetări urmată de radioelectricieni încă dinainte de 1900. Astfel, în 1960, Coleman şi Enderby şi-au modificat dispozitivul lor experimental pentru a obţine o radiaţie directă cu ajutorul unui sistem optic. În aceeaşi direcţie, Culshaw a efectuat lucrări de pionierat studiind, după 1950, transpunerea interferometrelor optice în domeniul microundelor; printre altele, el a arătat că cele două plăci reflectoare ale unui interferometru Fabry-

Pérot pot juca rolul unei cavităţi rezonante. Un astfel de dispozitiv este folosit la laseri, descoperiţi în 1960.

LASERII. Dintre metodele propuse pentru a produce unde submilimetrice, utilizarea maserelor este deosebit de promiţătoare. În cazul emisiei stimulate, unda electromagnetică coordonează ea însăşi emisia diferiţilor fotoni şi introduce coerenţa, în timp ce emisia spontană a fotonilor are loc la întîmplare. Sînt în curs cercetări pentru realizarea, în domeniul undelor milimetrice, a unor amplificatoare cuantice cu cristale sau cu jeturi gazoase, asemănătoare celor care funcţionează în gama undelor centimetrice. În 1958, Schawlow şi Townes au studiat posibilitatea realizării unor maseri infraroşii şi optici. Importanţa emisiei spontane în gama undelor vizibile, ceea ce ar însemna producerea de lumină naturală, ne-ar putea părea îndoielnică: într-adevăr, probabilitatea emisiei spontane creşte cu cubul frecvenţei şi ne-am putea aştepta ca emisia stimulată să nu fie niciodată preponderentă. În ciuda acestei dificultăţi, mai multe laboratoare americane au început realizarea „maserului optic“, numit mai curînd *laser* (*Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation* — amplificator de lumină prin emisie stimulată de radiaţie).

În 1960, cercetările lui T. Maiman de la Laboratorul Hughes şi, curînd după aceea, cele efectuate la Laboratorul Bell (ambele în S.U.A.) au fost încununate de succes: caracterul spectaculos al rezultatelor obţinute a produs efectul unei bombe, care s-a extins treptat în numeroase domenii ştiinţifice şi tehnice. Maiman a realizat primul laser folosind o linie de fluorescenţă a cristalului de rubin: iluminat violent cu lumină verde, acesta a reemis impulsuri de lumină roşie. Două feţe paralele ale cristalului au fost făcute reflectante prin metalizare, formînd astfel un rezonator Fabry-Pérot. Densitatea de energie electromagnetică dintre ele devine atît de mare, încît conduce la o emisie stimulată, caracterizată printr-o linie spectrală mult mai fină şi mai intensă decît linia de fluorescenţă emisă spontan. Radiaţia este concentrată într-un fascicul extrem de fin, într-o direcţie perpendiculară pe feţele metalizate. Unul dintre dezavantajele acestui dispozitiv constă în faptul că nu funcţionează deocamdată decît în impulsuri. Mai multe laboratoare studiază metodele necesare obţinerii unei funcţionări continue, folosind şi alte cristale: fluorură de calciu dopată cu ioni de uraniu sau pămînturi rare, cu care s-au obţinut deja rezultate interesante.

În februarie 1961, A. Javan, W. Bennett şi D. Herriot au anunţat realizarea unui laser gazos, care produce o radiaţie permanentă în infraroşul foarte apropiat de domeniul vizibil. Gazul, constituit dintr-un amestec de heliu şi neon, este plasat într-un rezonator Fabry-Pérot; inversarea populaţiei între nivelele de energie ale neonului este efectuată cu ajutorul unei descărcări electrice. În 1962, cercetătorii de la Laboratorul Bell au obţinut 14 lungimi de undă noi prin emisie laser, folosind descărcări în diferite gaze; trei dintre ele nu fuseseră niciodată observate în cazul emisiei spontane.

Frecvenţa undelor emise de laseri este mult mai bine definită decît cea a radiaţiilor emise spontan de atomi şi molecule; lărgimea liniilor respective este de mii de ori mai mică decît cea a liniilor optice obişnuite şi se poate considera, practic, că laserii sînt generatori de lumină coerentă. Această proprietate, impreună cu intensitatea emisiei şi cu posibilitatea concentrării energiei într-un fascicul fin, este extrem de interesantă pentru telecomunicaţii, care beneficiază în acest domeniu de un spectru extrem de larg. Mai multe grupe de cercetători încearcă deja modularea undelor produse de laseri. Sînt în curs şi cercetări pentru realizarea unei extrapolări a radarului la domeniul laserilor, sub forma *colidar*-ului (Coherent Light Detection and Ranging — detectarea şi măsurarea distanţelor cu ajutorul luminii coerente). Excepţionala densitate de energie obţinută cu laserii lasă să se întrevadă şi aplicaţii în domenii foarte diferite, ca chirurgia, studiul legăturilor intermoleculare sau prelucrarea materialelor.

Chiar lăsînd deoparte entuziasmul care urmează marilor descoperiri, este sigur că laserul deschide noi perspective, nebănuite încă în fizică şi în tehnica telecomunicaţiilor. Descoperirea sa nu rezolvă totuşi complet problema producerii undelor submilimetrice coerente. Între altele, rămîne un mare gol, care mai trebuie acoperit în spectrul frecvenţelor, între lungimile de undă de 0,7 mm şi 3 microni[2].

K. ENERGIA ELECTRICĂ ŞI CERCETAREA ŞTIINŢIFICĂ

Nu putem încheia această trecere în revistă a evoluţiei pe plan ştiinţific a electricităţii şi a electronicii, fără a aminti problemele ridicate de producţia energiei electrice, deşi condiţiile economice şi tehnice au jucat în istoria acesteia un rol la fel de determinant ca şi progresul ştiinţific.

METODELE CLASICE DE PRODUCERE A ELECTRICITĂŢII. Bazele teoretice ale funcţionării maşinilor electrice deveniseră cunoscute de fapt încă de la descoperirea legilor electromagnetismului şi, în special, a legii de inducţie, pe la mijlocul secolului al XIX-lea. După studiul de avangardă al lui Pixii din 1832, cercetările lui Pacinotti (1861) şi Siemens (1866) au deschis calea inventării dinamului de către Gramme (1869). Maşinile de curent alternativ, deşi mai simple decît maşinile de curent continuu, au fost inventate mai tîrziu. Astfel, primele maşini sincrone au fost realizate de Elihu Thomson (1879), Siemens şi

---

[2] De la scrierea acestei cărţi, previziunile asupra laserilor au avut timp să se adeverească în mare parte. Astăzi laserii sînt utilizaţi în domenii foarte variate ale ştiinţei şi tehnologiei. La noi în ţară, cercetările de laseri, începute în 1962 sub conducerea prof. Ion Agârbiceanu, s-au dezvoltat şi diversificat rapid. Astăzi există o întreagă secţie de cercetări în acest domeniu, la Institutul de fizică atomică, condusă de dr. V. Drăgănescu, în care s-au elaborat variate tipuri de laseri (cu CO_2, cu He + Ne, cu sticlă dopată cu Nd) şi în care s-au imaginat şi construit diverse dispozitive şi instalaţii cu laseri utile în cercetări de laborator, în aplicaţii industriale, în prospecţiuni, în construcţii etc. O altă linie de cercetări legată de laseri este cea a producerii şi diagnosticării plasmei fierbinţi. Rezultate importante în acest sens au fost obţinute de grupul de cercetători condus de prof. Ion M. Popescu. O teorie aproape completă a proceselor elementare din atari plasme şi a comportării macroscopice a plasmelor respective a fost elaborată în cadrul grupului respectiv. Nu lipsesc nici cercetările de holografie cu laseri. — *N.I.-P.*

Hopkinson (1884), Westinghouse (1886) şi Tesla (1887); printre inventatorii motoarelor asincrone, trebuie citaţi Marcel Deprez (1883), Ferraris (1886) şi iar Tesla (1888). Simultan cu aceste realizări, unii teoreticieni, ca Joubert, Ben Eschenbourg, André Blondel şi Maurice Leblanc puneau bazele calculului acestor maşini. Doar 20 de ani despart astfel inventarea primelor alternatoare de realizarea alternatoarelor T.F.F., prin 1900 (vezi p. 268).

În 1882, Marcel Deprez a efectuat prima demonstraţie de transport al energiei electrice în curent continuu, la Expoziţia de la München. În acelaşi an, inventarea transformatorului de către francezul Gaulard şi englezul W.E. Gibbs aducea o mai mare supleţe în utilizarea curenţilor alternativi. În 1891, Tesla a efectuat primul transport al energiei electrice în curent trifazat, pe o distanţă de 175 km, de la Lauffen, la Frankfurt. Am amintit, la teoria reţelelor, bazele calculului maşinilor electrice şi al liniilor de transport al energiei: noţiunea de impedanţă, reprezentarea mărimilor electrice prin numere complexe etc. Trebuie adăugată la acestea şi noţiunea de „putere reactivă“, introdusă de Boucherot, pentru a ţine seama de rolul curenţilor în cvadratură cu tensiunea.

Aceste cercetări au permis dezvoltarea excepţională a producţiei şi transportului energiei electrice în secolul al XX-lea; aproape neglijabilă în 1900, producţia mondială a atins aproape 400 miliarde kilowatt-ore în ajunul celui de-al doilea război mondial, iar creşterea a continuat conducînd la o dublare a producţiei la fiecare zece ani: ea a depăşit 2000 miliarde de kilowatt-ore în 1960.

Componenta esenţială în producerea electricităţii este de fapt alternatorul, care se găseşte la capătul unui lanţ complex de transformări ale energiei. În hidrocentrale — ca şi în centralele mareemotrice, care sînt în studiu — energia potenţială a unei mase enorme de apă este transformată în energie cinetică, iar această energie mecanică este transformată în energie electrică cu ajutorul unor grupuri formate dintr-o turbină şi un alternator. În termocentrale, care funcţionează pe bază de cărbuni, gaz metan sau derivaţi ai petrolului, lanţul este şi mai lung: energie chimică, energie mecanică, energie electrică.

ELECTRICITATEA DE ORIGINE NUCLEARĂ. În centralele nucleare care folosesc reacţiile de fisiune a uraniului sau plutoniului — şi dintre care prima a fost pusă în funcţiune în 1954 în U.R.S.S. — doar începutul lanţului amintit este modificat, deoarece energia nucleară furnizată de un reactor nuclear înlocuieşte energia chimică drept sursă de căldură; astfel de centrale sînt în curs de construcţie în numeroase ţări.

Cercetările întreprinse în vederea domesticirii fuziunii nucleare pot, dimpotrivă, să conducă la metode foarte diferite de producere a electricităţii. Reacţiile de fuziune, asemănătoare celor ce au loc în stele, folosesc elemente uşoare ca deuteriul, tritiul, heliul, litiul. Pentru a le realiza, este suficient în principiu să se încălzească combustibilul nuclear la aproximativ 100 milioane de grade şi să se menţină la această temperatură un timp suficient de lung. În legătură cu aceasta, am amintit deja, la teoria gazelor ionizate (p. 312), importantele cercetări teoretice şi experimentale în curs. Acest efort, început după 1951, a crescut după Conferinţa internaţională pentru folosirea energiei atomice în scopuri paşnice de la Geneva, din 1955. Pronosticurile asupra rezultatelor acestor studii au fost, rînd pe rînd, optimiste şi pesimiste: în 1955, fizicianul indian Bhabha prevedea că problema va fi rezolvată în următorii douăzeci de ani; în anul următor, fizicianul american Richard Post, remarcînd că puţini fizicieni se îndreaptă spre studiul mişcării perpetue, din cauza primelor două legi ale termodinamicii, scria: „Se speră că construcţia unui reactor de fuziune nu va intra în această categorie de eforturi!“ Problemele de stabilitate sau de radiaţie a plasmei ar putea de fapt să facă extrem de dificilă realizarea fuziunii controlate în laborator. Cercetările sînt continuate totuşi cu perseverenţă şi s-au obţinut deja progrese importante. Pentru a justifica aceste eforturi în cercetare, este suficient să amintim că deuteriul din oceane ar constitui el singur o rezervă de energie suficientă pentru alimentarea omenirii timp de un miliard de ani, chiar dacă producţia ar depăşi de o mie de ori ritmul actual; în schimb, toate celelalte surse de energie sînt extrem de limitate.

NOI METODE DE PRODUCERE A ENERGIEI ELECTRICE. Aşteptînd acest imens „val“ de energie, generatorul magnetohidrodinamic, care permite transformarea directă a energiei cinetice în energie electrică, este în curs să fie pus la punct în mai multe laboratoare. Sînt explorate, de asemenea, căi pentru transformarea căldurii în electricitate, fără intervenţia maşinilor rotitoare. Fizica corpului solid aduce şi ea două soluţii la această problemă: pilele fotoelectrice, realizate cu ajutorul joncţiunilor semiconductoare, au fost deja folosite la bordul sateliţilor: progresele termoelementelor semiconductoare permit deja realizări interesante, bazate pe proprietăţile termocuplelor electrice. O lucrare a lui G. Hatsopoulos din 1956 a stîrnit interesul pentru convertizorul termoionic: în acest dispozitiv, electronii emişi de un catod cald produc un curent într-un circuit exterior, la o tensiune de cîţiva volţi. Dacă vor atinge randamente suficiente, aceste dispozitive vor putea fi cuplate cu reactorii nucleari. Astfel, generatoarele americane „SNAP“, studiate în vederea alimentării sateliţilor cu energie electrică, conţin o sursă cu combustibili nucleari şi termopile cu semiconductoare.

În sfîrşit, mai multe laboratoare studiază un dispozitiv care transformă direct energia chimică în energie electrică: pila de combustie. În timp ce pilele obişnuite au o durată de funcţionare foarte limitată, iar acumulatoarele, inventate de Planté în 1860, trebuie să fie periodic încărcate, în noile pile este suficientă prezenţa unei mari rezerve de combustibil-hidrogen sau, mai bine, hidrocarburi. Pila de combustie cea mai studiată se bazează pe o veche idee experimentată de Grove în 1839; transformarea directă în energie electrică a energiei de recombinare a moleculelor de hidrogen şi oxigen, care este de obicei întîlnită doar sub formă de căldură de ardere. Pila de combustie conţine un electrod pentru hidrogen, un electron pentru oxigen şi un mediu electrolitic intermediar, la care se adaugă rezerve de oxigen şi hidrogen.

Aceste noi mijloace de producere a electricităţii nu au ambiţia să înlocuiască metodele clasice. Ele prezintă, totuşi, un interes considerabil în cazul unor utilizări speciale, ca alimentarea sateliţilor cu energie sau producerea electricităţii pe bază de energie solară, ca şi la îmbunătăţirea randamentelor centralelor clasice.

După ce mai bine de un secol s-a consacrat aplicării legilor macroscopice ale electricităţii, electrotehnica tinde acum să se apropie de electronică, care a furnizat, din punct de vedere ştiinţific, aportul principal al secolului al XX-lea la istoria electricităţii, prin explorarea mecanismelor microscopice pe care se bazează legile descoperite în secolul al XIX-lea. Pornind de la noţiuni din teoria cinetică a gazelor, teoria electricităţii s-a complicat treptat prin introducerea unor forţe cu acţiuni la distanţă între particule şi prin modificările legate de dezvoltările teoriilor cuantice; cea mai bună metodă pentru a evidenţia această evoluţie o constituie urmărirea dezvoltării teoriei unui anumit fenomen electric.

Un bun exemplu este cel al mecanismului conducţiei electricităţii în solide, adică interpretarea microscopică a legii lui Ohm. Încă de la începutul secolului, descoperirea electronului a permis unor pionieri — Thomson, Riecke, Drude şi Lorentz — să elaboreze o primă teorie, care a cunoscut succese incontestabile, în ciuda lipsurilor ei: ea arăta că în interiorul conductorilor există electroni denumiţi „liberi“; ei sînt astfel doar în mod relativ. Aceşti electroni asigură transportul electricităţii deplasîndu-se sub acţiunea unui cîmp electric, deşi aceste deplasări sînt perturbate de prezenţa ionilor. Progresele ulterioare ale teoriei conducţiei electricităţii sînt legate, pe de o parte, de descoperirea legilor ce guvernează comportarea statistică a unei populaţii de electroni (statistica Fermi şi aplicarea ei la conductori de către Sommerfeld), iar pe de alta, de descoperirea mecanicii, care guvernează mişcarea particulelor la scară microscopică (mecanica ondulatorie şi noile teorii cuantice). S-a putut astfel preciza noţiunea de electroni liberi în solide (teoria benzilor), s-a lămurit distincţia dintre conductori, izolatori şi semiconductoare şi s-au explicat proprietăţile electrice ale acestora din urmă prin introducerea noţiunii de „gol“, care traduce influenţa reţelei cristaline asupra propagării undelor pe care mecanica ondulatorie le asociază electronului, ca şi oricărei particule microscopice. A fost necesară, de asemenea, introducerea unei noţiuni capabile să traducă comportarea colectivă a ionilor din reţea (noţiunea de fonon) şi a electronilor (noţiunea de plasmon). A fost necesar, în sfîrşit, să se precizeze, în lumina noilor noţiuni şi a mecanicii cuantice, ceea ce vechea teorie a lui Drude numea „ciocniri între electroni şi ioni“. Imaginea simplistă a ciocnirilor între bile de biliard a trebuit să fie înlocuită prin mecanisme de interacţie a căror descriere şi studiu au devenit din ce în ce mai complexe: ele sînt cele care tind să restabilească echilibrul termodinamic cînd încetează acţiunea unei forţe exterioare, cum ar fi cea a unui cîmp electric; eficacitatea lor, ca agenţi de revenire la echilibru, se măsoară printr-un „timp de relaxare“. Noţiuni asemănătoare se folosesc şi în teoria gazelor ionizate, cu diferenţa că se poate folosi mecanica clasică, deoarece populaţia electronică este mai puţin densă. Pentru a completa această trecere în revistă a concepţiilor actuale asupra conducţiei electricităţii în materie, trebuie să mai cităm rolul de agent de transport atribuit ionilor în mediile în care nu există electroni liberi, electroliţii şi izolatorii. Sîntem departe de teoriile simple de la începutul secolului, dar ideea lor de bază se menţine deşi, precizîndu-se, s-a complicat.

Cunoaşterea mecanismelor microscopice conferă savanţilor şi specialiştilor o putere mai mare, care se manifestă, printre altele, în aplicaţiile electronicii. Se cunosc acum metodele de a extrage electronii din materie pentru a-i obliga să lucreze în tuburi amplificatoare, în microscoape electronice, în sonde electronice cu difracţie de electroni sau de radiaţii X, în tuburi fotodetectoare şi în acceleratoare de electroni. Corpurile solide nu mai servesc doar drept conductori de electricitate sau izolatori: astăzi pot fi utilizate proprietăţile electrice cele mai subtile ale lor, ca piezoelectricitatea, proprietăţile semiconductoarelor sau tranziţiile cuantice din dielectrici; pentru a le folosi, se fabrică materiale noi, cu un grad extrem de puritate şi de perfecţiune cristalină. Aceste progrese în cunoaşterea proprietăţilor electrice ale materiei au oferit electronicii o fecunditate care creşte continuu: este suficient să amintim invenţiile cele mai recente: tranzistorul, maserul, amplificatorul parametric şi laserul.

Ştiinţa beneficiază din plin de aceste invenţii, care sînt fructele comune ale progreselor fundamentale şi tehnologice. Trebuie citat în primul rînd rolul electronicii în metrologie: orice laborator modern, interesat în studii de fizică nucleară, de fizica corpului solid sau chiar în chimie sau biologie, apelează la aparate electronice; rezultatele măsurărilor sînt în mod curent prelucrate cu ajutorul calculatoarelor electronice care, pe de altă parte, sînt necesare în a conduce majoritatea teoriilor pînă la rezultate numerice. Explorarea materiei dispune de instrumente extrem de eficace, ca spectroscopia hertziană sau instrumentele de optică electronică, în timp ce radioastronomia reprezintă o nouă fereastră deschisă spre univers. Rolul electronicii şi al radioelectricităţii în studiul spaţiului, prin intermediul rachetelor şi al sateliţilor, nu este mai puţin important: partea care îi revine cuprinde telecomanda, măsurările şi retransmisia rezultatelor la sol. Aplicaţiile tehnice ale electronicii sînt cele mai cunoscute de către marele public: radiodifuziunea; telecomunicaţiile cu fir, prin cabluri coaxiale, prin radio sau prin fascicule hertziene; televiziunea; radarul şi radioghidarea; electronica industrială, telecomanda şi telemăsura. Această înflorire a aplicaţiilor practice nu este indiferentă istoricului electronicii, chiar pe un plan pur ştiinţific: ea a avut ca rezultat o importantă participare a industriei la cercetare, atît prin activitatea proprie a laboratoarelor industriale, care se exercită pînă în domeniul cercetărilor fundamentale, cît şi prin ajutorul financiar care le stimulează şi le orientează.

■

În următorii ani, dezvoltarea electronicii — chiar din punct de vedere fundamental — va fi în mare parte determinată de necesităţile celor ce o utilizează: studiul frecvenţelor înalte pentru telecomunicaţii şi mai ales pentru cercetarea materiei, deci lucrări asupra undelor milimetrice şi submilimetrice, ca şi asupra laserilor; necesitatea unor emiţători de mare putere, care conduce la studiul unor tuburi „supraputernice“, care să depăşească de mai mult de zece ori puterile actual disponibile; cercetări asupra receptoarelor cu zgomot foarte mic (tuburi, tranzistoare, amplificatoare parametrice şi maseri); miniaturizarea pieselor electronice, în special în domeniul cercetării spaţiale, al calculatoarelor electronice, precum şi al autocomutatoarelor electronice în curs de studiu în telefonie, care apelează la fizica solidelor şi la noi metode tehnologice ale componentelor electronice; probleme de producere a energiei electrice, în legătură cu care am amintit deja unele aspecte noi.

Am văzut că şi teoria proprietăţilor electrice ale materiei ridică încă probleme, care reprezintă tot atîtea posibilităţi de dezvoltare. Fizica plasmei, care este actualmente în plin avînt, conduce la descoperirea unor proprietăţi mai complexe decît se bănuia. Fizica corpului solid, ale cărei remarcabile rezultate au revoluţionat electronica, necesită perfecţionări atît în domeniul dielectricilor cît şi al semiconductoarelor sau supraconductoarelor; în particular, progresele recente din domeniul supraconductibilităţii, care au survenit după inventarea maserilor, anunţă naşterea unei electronici a temperaturilor joase.

Pentru a aborda problemele nelămurite, pentru a descrie în toată complexitatea lor fenomenele microscopice, fizicienii trebuie să apeleze la mijloacele cele mai viguroase ale fizicii matematice, atît în cadrul electromagnetismului clasic, şi în cel al teoriilor cuantice. Anumite domenii ale acestora, cum ar fi teoria cuantică a cîmpurilor sau electrodinamica cuantică, rămîn totuşi încă puţin folosite în electronică: introducerea lor s-ar putea dovedi într-o zi necesară şi fecundă. Exemplul descoperirii maserilor ne-a arătat ce avînt poate cunoaşte dezvoltarea electronicii, din care s-a desprins astfel o nouă ramură, electronica cuantică. Studiul lucrărilor asupra maserilor şi laserilor arată totuşi că teoria electromagnetică clasică aduce încă o contribuţie importantă în acest domeniu. Cînd se pune problema analizării proprietăţilor circuitelor şi ale rezonatorilor, sau a studierii radiaţiei produse, noţiunea de undă electromagnetică, concepută de urmaşii lui Maxwell, rămîne încă cea mai comodă. Fizicienii pot, în acest caz, să recurgă la splendida construcţie fizico-matematică fondată în urma lucrărilor lui Lorentz, Poincaré şi Sommerfeld şi pentru care celebra lucrare *Electromagnetic Theory* a lui Stratton constituie una dintre cele mai bune expuneri moderne. Această teorie, al cărei domeniu se extinde şi în optică şi în radioelectricitate, nu tratează numai cîmpurile electromagnetice a căror distribuţie în spaţiu şi evoluţie în timp sînt bine determinate. Ea se consacră desigur mai ales studiului regimurilor sinusoidale şi regimurilor electrice variabile, pe care le deduce pe baza transformărilor Fourier şi Laplace şi care reprezintă forme moderne ale calculului operaţional al lui Heaviside. Dar lucrările lui P.H. Van Cittert (1934) şi F. Zernike (1938), ca şi cele ale lui E. Wolf şi A. Blanc-Lepierre (1955) asupra coerenţei, au permis includerea unor cîmpuri a căror fază şi amplitudine au un caracter mai mult sau mai puţin aleator, ca cele ce rezultă din suprapunerea radiaţiilor emise independent de atomi. Aceste lucrări, a căror importanţă a fost deja considerabilă în optică, sînt chemate să asigure noi dezvoltări odată cu naşterea electronicii cuantice, care întăreşte legăturile dintre radioelectricitate şi optică, stabilite în secolul al XIX-lea prin teoria electromagnetică a lui Maxwell.

CAPITOLUL X
Radioactivitatea şi fizica nucleară

A. DE LA DESCOPERIREA RADIAŢIILOR X LA CEA A NEUTRONULUI (1895–1930)

DESCOPERIREA RADIAŢIILOR X. În 1895, noţiunile de atom şi de moleculă erau aproape universal adoptate, datorită lucrărilor lui Dalton, Proust, Avogadro etc., dar structura însăşi a atomului era necunoscută: atomul era considerat ultimul element al oricărui corp simplu şi se admitea că există tot atîtea specii de atomi cîte corpuri simple există.

Studiile asupra electricităţii au furnizat, în paralel, cunoştinţe noi, în special în privinţa propagării undelor electromagnetice (Hertz, 1887), dar experienţele în domeniul descărcărilor în gaze rarefiate, deşi numeroase, nu-şi dezvăluiseră încă secretele; abia în 1897 J.J. Thomson descoperă electronul şi îi măsoară, cîţiva ani mai tîrziu, sarcina — care se dovedeşte egală cu cea a unui ion univalent — ceea ce îi permite să îl considere ca „un adevărat atom de electricitate“ (vezi p. 255–258).

Cu doi ani mai devreme (1895), W.C. Röntgen descoperise radiaţiile X. În laboratorul său de la Würzburg (Germania), Röntgen a observat pentru prima dată radiaţii invizibile ce se propagă în afara unui tub de radiaţii catodice acoperit cu hîrtie neagră, radiaţii capabile să provoace luminescenţa unui ecran acoperit cu platinocianură de bariu. El a denumit aceste radiaţii, de natură necunoscută, radiaţii X. Cercetările lui Röntgen au continuat de fapt numeroasele cercetări întreprinse mai înainte asupra radiaţiilor catodice, în special de Villard, Crookes şi Wiechert. Jean Perrin dovedise că radiaţiile catodice sînt formate dintr-un fascicul de electroni rapizi. În afară de acţiunea lor asupra ecranelor fluorescente, Röntgen a stabilit că noile radiaţii necunoscute impresionează placa fotografică şi ionizează aerul înconjurător. El a dovedit, de asemenea, că radiaţiile X sînt capabile să străbată grosimi de material relativ mari, fiind absorbite mai mult de elementele cu greutate atomică mare. Folosind această proprietate, el a obţinut primele radiografii ale scheletului unor fiinţe vii[1].

S-au obţinut progrese rapide în construcţia tuburilor, prin introducerea anticatodului şi apoi prin punerea la punct a tuburilor cu catod cald de către Coolidge (1913), după descoperirea emisiei de electroni a corpurilor incandescente.

---

[1] Istoricul progreselor radiologiei este expus în studiul lui R. Debré şi G. Desbuquois (p. 823–827).

După cercetările lui Röntgen, nu au mai fost obţinute rezultate fundamentale în domeniul radiaţiilor X decît după 15 ani, în urma lucrărilor lui von Laue, care a arătat că radiaţiile X reprezintă o radiaţie electromagnetică cu lungime de undă mică[2], şi ale lui Moseley, care a stabilit legătura dintre spectrele caracteristice de linii ale radiaţiilor X şi structura electronică a atomilor (vezi p. 398). Descoperirea radiaţiilor X a avut, pe lîngă aplicaţiile sale imediate, o foarte mare importanţă pentru toată dezvoltarea ulterioară a fizicii.

O imagine simplă şi comodă a atomului, clasică astăzi, este cea a modelului lui Rutherford-Bohr (1911—13), în care atomul este reprezentat printr-un nucleu central încărcat pozitiv, înconjurat de electroni ce gravitează pe orbite circulare sau eliptice, ale căror centre, sau unul dintre focare, este ocupat de nucleu. Ansamblul este neutru din punct de vedere electric; pentru un atom cu număr atomic Z, sarcina nucleului este $+Ze$. Pe aceste orbite, electronii în mişcare nu radiază energie, dar cînd un electron trece de pe o orbită pe alta, apare un schimb de energie cu mediul exterior, efectuat în general prin intermediul unui foton, a cărui frecvenţă este dată de $h\nu = E_i - E_f$, unde E_i şi E_f sînt energiile de legătură ale electronului în starea iniţială şi cea finală.

Radiaţiile X caracteristice sînt astfel produse prin tranziţii electronice între păturile cele mai apropiate de nucleu (cele mai legate ale atomului) (K, L etc.). Ciocnirile unor electroni, cu energie suficient de mare, cu atomii unei ţinte au drept rezultat apariţia unor radiaţii X caracteristice, datorită smulgerii unui electron din straturile interne ale anumitor atomi. Dar încetinirea particulelor accelerate şi, în special, a electronilor care trec prin vecinătatea centrelor cu sarcină, produce o radiaţie electromagnetică, numită radiaţie de frînare, care explică spectrul continuu de radiaţii X.

În timp ce structura atomului putea fi considerată cunoscută în limite rezonabile, structura nucleului rămînea încă o enigmă, în ciuda eforturilor considerabile efectuate în ultimii 30 ani de numeroşi fizicieni. Nucleul este un sistem complex, format din protoni şi neutroni. Ca şi cortegiul electronic al atomului, nucleul se poate găsi într-o stare de energie care nu corespunde stării de energie minimă; el suferă atunci o evoluţie spre această stare, însoţită de o eliberare de energie. Anumite nuclee pot rămîne mult timp în această stare metastabilă (pînă la mai multe sute de milioane de ani) şi să sufere la un moment dat o transformare: se spune că acestea sînt radioactive. Energia este eliberată sub forma unor diverse radiaţii şi tocmai observarea acestor radiaţii pentru prima dată de H. Becquerel, în 1896, a condus la descoperirea radioactivităţii.

Se poate considera că odată cu radioactivitatea s-a născut nu numai o eră nouă a fizicii, ci au apărut dezvoltări noi în toate domeniile cunoaşterii şi economiei umane. Aceste descoperiri au apărut din cercetările laborioase în care geniul unor experimentatori succesivi a ştiut să scoată la iveală fenomene neaşteptate[3].

---

[2] Vezi studiul lui J. Orcel (p. 474—475).

[3] Cercetări originale în domeniul spectroscopiei radiaţiilor X a întreprins, cu deosebit succes, în perioada interbelică, acad. Horia Hulubei (1896—1972). Numele lui Horia Hulubei se leagă şi de unele rezultate inedite, semnificative, în cercetarea efectului Compton dublu precum şi de primele cercetări întreprinse în vederea identificării elementului francium

DESCOPERIREA RADIOACTIVITĂŢII. Descoperirea radioactivităţii de către Henri Becquerel (1896) a urmat rapid după cea a radiaţiilor X. Ea a fost pusă în evidenţă de acţiunea radiaţiilor asupra plăcii fotografice.

> Marie Curie a relatat împrejurările într-un mod foarte plastic:
>
> „Originea cercetărilor lui Becquerel se leagă de cercetările efectuate, după descoperirea radiaţiilor Röntgen, asupra efectelor fotografice ale substanţelor fosforescente şi fluorescente. Primele tuburi producătoare de radiaţii Röntgen erau tuburi fără anticatod metalic. Sursa de radiaţii Röntgen se găsea pe peretele de sticlă lovit de radiaţiile catodice; acest perete devenea intens fluorescent. Se putea pune atunci întrebarea dacă emisia radiaţiilor Röntgen nu însoţeşte obligatoriu producerea fluorescenţei, oricare ar fi fost cauza acesteia. Această idee a fost enunţată iniţial de H. Poincaré.
>
> Puţin timp mai tîrziu, diverşi experimentatori au semnalat posibilitatea impresionării plăcii fotografice învelite în hîrtie neagră, cu ajutorul sulfurii de zinc fosforescente, a sulfurii de calciu expuse la lumină şi a blendei hexagonale artificiale fosforescente. Experienţele pe care le-am citat nu au putut fi reproduse, în ciuda numeroaselor încercări efectuate în acest scop. Nu s-a putut deci considera demonstrat faptul că sulfura de zinc şi sulfura de calciu sînt capabile să emită, sub acţiunea luminii, radiaţii invizibile care traversează hîrtia neagră şi acţionează asupra plăcilor fotografice.
>
> H. Becquerel a efectuat experienţe analoage asupra sărurilor de uraniu, dintre care unele sînt fluorescente. El a obţinut impresionări fotografice prin hîrtie neagră, folosind sulfatul dublu de uranil şi potasiu. Becquerel a crezut iniţial că această sare, care este fluorescentă, se comportă ca şi sulfura de zinc sau sulfura de calciu din experienţele pe care le-am amintit. Dar continuarea experienţelor a arătat că fenomenul observat nu era deloc legat de fluorescenţă. Nici nu era necesar ca sarea să fie iluminată; mai mult chiar, uraniul şi toţi compuşii săi, fluorescenţi sau nu, acţionează la fel, iar uraniul metalic este cel mai activ. Becquerel a stabilit apoi că şi compuşii uraniului, plasaţi în obscuritate totală, continuă să impresioneze plăcile fotografice prin hîrtie neagră, ani întregi. Becquerel a tras concluzia că uraniul şi compuşii săi emit radiaţii speciale: radiaţiile uranice“ (Marie Curie, *Traité de radioactivité*, 1910).

S-a spus uneori că descoperirea lui Becquerel se datorează norocului sau întîmplării. De fapt, norocul lui Becquerel constă în faptul că şi-a îndreptat atenţia asupra sărurilor de uraniu, pe care dealtminteri le cunoştea foarte bine. Dar trebuie, de asemenea, să admirăm şi grija excepţională pe care o lua în cursul cercetărilor sale. Astfel, Becquerel şi-a expus sărurile sale de uraniu la soare pentru a le face fluorescente; cînd, în lipsa soarelui, el a lăsat într-un dulap o sare de uraniu în apropierea unei plăci fotografice, a avut precauţia de a o developa înainte de a-şi continua experienţele. Constatînd că aceasta a fost impresionată, el a întrevăzut că nu era nici o legătură între fluorescenţă şi această acţiune fotografică.

RADIOELEMENTELE: POLONIUL ŞI RADIUL. Becquerel şi-a continuat cercetările şi a arătat că „radiaţiile uranice“ sînt capabile, ca şi radiaţiile Röntgen,

---

(numit cîtva timp moldavium). Obţinerea experimentală a spectrelor de radiaţii X reprezintă o premieră mondială. — *N.I.-P.*

să facă aerul înconjurător conductor. Originea acestei energii degajate constant a intrigat pe Pierre şi Marie Curie (născută Sklodowska); M. Curie, sfătuită de P. Curie, s-a decis să efectueze cercetări asupra acestui subiect. Aceste cercetări au început la 16 decembrie 1897.

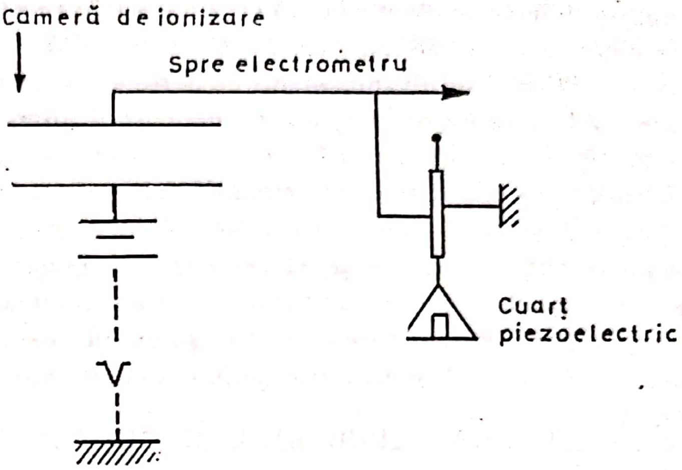


FIG. 7. MĂSURAREA IONIZĂRII PRODUSE DE RADIAŢIILE LUI BECQUEREL (MARIE CURIE, 1898).

Figura 7 reprezintă schematic dispozitivul experimental pe care ea l-a folosit după 20 ianuarie 1898 şi care i-a permis o *măsurare cantitativă* a ionizării produse de radiaţiile lui Becquerel. Sarcinile electrice colectate de placa unei camere de ionizare sînt compensate de sarcinile care apar pe o lamă de cuarţ cînd aceasta este supusă unui efort mecanic. Această metodă de măsură a curenţilor foarte slabi fusese de curînd pusă la punct de Jacques şi Pierre Curie; ea foloseşte fenomenul de piezoelectricitate, descoperit de ei.

Efectuînd măsurări precise, Marie Curie observă curînd că radiaţia constituie o proprietate specifică a atomului de uraniu: intensitatea sa este proporţională cu cantitatea de uraniu conţinută în sare. Ea studiază şi alţi compuşi care posedă aceeaşi proprietate şi arată, în acelaşi timp cu G. Schmidt, din Münster (Germania), că thoriul emite o radiaţie analoagă celei a uraniului. Ea propune denumirea de „radioactive“ pentru substanţele care emit radiaţiile lui Becquerel şi denumirea de „radioactivitate“ pentru noua proprietate, ca şi cea de „radioelemente“ pentru elementele care o posedă. În cursul acestor cercetări, examinînd nu numai săruri preparate în laborator, ci şi minerale (pehblendă, chalcolit, autunit, thorit etc.), ea constată că unele dintre acestea prezintă o radioactivitate anormală, mult superioară celei ce putea fi prevăzută după conţinutul în uraniu sau în thoriu.

Astfel, pehblenda (mineral cu oxid de uraniu) avea o activitate de patru ori mai mare decît cea a uraniului; chalcolitul (fosfat de cupru şi de uraniu cristalizat) era de două ori mai activ decît uraniul. Dar, conform celor cunoscute pînă atunci, nici un mineral n-ar fi trebuit să fie mai activ decît uraniul şi thoriul.

Pentru a explica acest fapt surprinzător, M. Curie a emis ipoteza că trebuie să existe o substanţă cu mult mai radioactivă decît uraniul sau thoriul. P. şi M. Curie au colaborat atunci mai strîns pentru a încerca să izoleze acest nou element (martie 1898). Eforturile lor, efectuate în condiţii materiale deosebit de deplorabile, au condus la descoperirea *poloniului* şi a *radiului*, descoperiri publicate la 18 iulie 1898, respectiv la 26 decembrie 1898.

Deşi sigură, existenţa noilor elemente nu a fost recunoscută fără reticenţe de prea mulţi savanţi. P. şi M. Curie au încercat atunci să le obţină în cantităţi mai mari. Demarçay pusese deja în evidenţă la o probă de bariu radifer, de 60 ori mai activ decît uraniul, o radiaţie nouă de 3815 Å, care a fost atribuită radiului. Dar, după cercetări îndelungate, P. şi M. Curie au obţinut săruri de bariu din ce în ce mai concentrate în radiu, care le-au permis detectarea prezenţei unui element alcalino-pămîntos, mai greu decît bariul. În iulie 1902, P. şi M. Curie, după o muncă istovitoare, au reuşit să prepare 100 mg de clorură de radiu pur şi au efectuat prima determinare a greutăţii atomice a acestui element. După 1904, industriaşul francez Armet de Lisle a creat prima industrie de extracţie a radiului. Abia în 1910, M. Curie şi A. Debierne au reuşit să separe radiul în stare metalică, prin electroliza clorurii de radiu topite, ceea ce stabilea în mod complet individualitatea acestui nou element. Dezvoltarea acestor splendide cercetări poate fi urmărită în carnetele de laborator ale lui P. şi M. Curie, publicate în lucrarea lui M. Curie, *Pierre Curie* (Paris, 1955).

DEZVOLTAREA CERCETĂRILOR DE RADIOACTIVITATE. Cercetările lui P. şi M. Curie au declanşat un număr considerabil de noi cercetări. Mai multe radioelemente au fost descoperite succesiv, prin folosirea metodelor de cercetare pe care ei le-au pus la punct.

Actiniul a fost izolat de A. Debierne (1899), radiul D — numit atunci radioplumb — a fost descoperit de Elster şi Geitel, Hoffmann şi Strauss (1902), radiothoriul şi mezothoriul de O. Hahn (1905), ioniul de Boltwood (1907), protactiniul (1918) a fost pus în evidenţă simultan de O. Hahn şi L. Meitner şi de F. Soddy şi J.A. Cranston. Aceste lucrări de chimie a radioelementelor au fost efectuate în special în laboratoarele lui P. şi M. Curie în Franţa, al lui F. Soddy în Anglia şi al lui S. Meyer în Austria. S-au descoperit, de asemenea, atomi slab radioactivi, printre elementele cu greutate atomică mai mică: potasiul (Thomson, 1905) şi rubidiul (Campbell şi Wood, 1906). Mult mai tîrziu, în 1932, G. von Hevesy a arătat că şi samariul este radioactiv.

În paralel, au fost efectuate şi lucrări de fizică. P. şi M. Curie au putut constata încă din 1899 „activitatea indusă“ asupra substanţelor plasate în vecinătatea radiului. În 1900, Rutherford a arătat că thoriul dă naştere unei „emanaţii“; Debierne a arătat, de asemenea, că actiniul produce o degajare considerabilă de emanaţie. S-a stabilit curînd că această emanaţie era un gaz radioactiv care putea da naştere unei depuneri active. Soddy şi Rutherford au reuşit să lichefieze emanaţia thoriului, iar în 1910 W. Ramsay şi R.W. Gray au confirmat faptul că acest gaz este un element din familia gazelor inerte, cu greutatea atomică 222. Cînd s-a stabilit că acesta este un produs de dezintegrare al radiului, i s-a dat numele de radon.

Din 1901, P. şi M. Curie, H. Becquerel, J. Perrin au propus printre alte ipoteze şi pe cea de a interpreta radioactivitatea ca o transformare atomică însoţită de degajarea unei energii potenţiale conţinute în atomul radioactiv. În mai 1903, în urma experienţelor lor asupra emanaţiilor, Rutherford şi Soddy au admis că radioactivitatea se datorează unei dezintegrări atomice (vezi p. 335).

La începutul anului 1903, P. Curie şi A. Laborde au pus în evidenţă degajarea spontană de căldură de către radiu. Această descoperire era foarte importantă, deoarece dovedea că energia degajată, deşi foarte mică în valoare absolută, este atît de mare în raport cu masa atomului, încît nu poate proveni decît dintr-o transformare a însăşi atomilor de radiu.

P. Curie şi Laborde scriau:

„Degajarea continuă a unei astfel de cantităţi de căldură nu se poate explica printr-o transformare chimică obişnuită. Dacă se caută originea producerii căldurii într-o transformare internă, această transformare trebuie să fie de o natură mai profundă şi trebuie să fie datorată unei modificări a însuşi atomului de radiu. O astfel de transformare, dacă există, are loc extrem de lent, deoarece proprietăţile radiului nu dovedesc variaţii însemnate în decursul mai multor ani. Deci, dacă ipoteza precedentă ar fi exactă, energia degajată în transformarea atomilor ar fi extraordinar de mare".

În sfîrşit, tot în 1903, Ramsay şi Soddy au arătat că radiul produce continuu heliu. Pentru prima dată, un element chimic, heliul, se obţinea dintr-un alt element, radiul; acest argument a jucat un rol decisiv în favoarea teoriei transmutaţiilor substanţelor radioactive.

Acest an, 1903, a reprezentat deci o cotitură importantă; oferind o bază solidă teoriei transformărilor atomice, lămurite de Rutherford şi Soddy, ea a orientat cercetările în direcţii noi şi extrem de fecunde[4].

RADIAŢIILE. PRIMELE METODE DE DETECTARE. Foarte rapid s-a reuşit separarea radiaţiilor substanţelor radioactive în trei categorii, α, β, γ, şi cunoaşterea caracteristicilor esenţiale ale acestora. Aceste cercetări au fost efectuate în special în Franţa, Anglia şi Germania. E. Rutherford a arătat, după 1899, că uraniul emite cel puţin două tipuri de radiaţii, cu puteri de pătrundere foarte diferite. El a denumit componenta puţin pătrunzătoare „radiaţie α", iar componenta mai pătrunzătoare „radiaţie β". În 1909, Rutherford şi Royds au demonstrat că radiaţiile α sînt atomi de heliu dublu ionizaţi. P. şi M. Curie au stabilit că sarcinile transportate de radiaţiile β sînt negative. Măsurări succesive au stabilit că sarcina unei radiaţii β este egală cu sarcina elementară şi astfel aceste radiaţii au fost considerate drept electroni. P. Villard a observat, pentru prima dată, radiaţii a căror putere de pătrundere era mult superioară celei a radiaţiilor β, numindu-le „radiaţii γ". Aceste radiaţii, care nu sînt deviate de cîmpurile electrice sau magnetice, au o putere mică de ionizare şi sînt considerate radiaţii electromagnetice.

Progresele metodelor de detectare au jucat desigur un rol considerabil în evoluţia cunoştinţelor noastre în acest domeniu. După descoperirea radioactivităţii, s-a observat că radiaţiile emise impresionează plăcile fotografice, produc fluorescenţa diferitelor substanţe şi fac gazele bune conductoare de electricitate.

Metoda care foloseşte placa fotografică şi care a permis descoperirea radioactivităţii, prezintă inconvenientul că nu furnizează o indicaţie suficient de exactă asupra intensităţii fenomenelor radioactive. Ea a fost totuşi folosită pentru a obţine imaginea traiectoriei fasciculelor, în special în cazul studiului acţiunii cîmpurilor magnetice. P. şi M. Curie au folosit încă de la început fenomenul de ionizare, care permite măsurări cantitative şi care le-a permis să efectueze observaţii ce i-au condus la descoperirea radioelementelor.

---

[4] Sînt de reţinut şi cercetările experimentale ale Ştefaniei Mărăcineanu asupra radioactivităţii artificiale, întreprinse în perioada interbelică (aşa cum sublinia acad. Vasilescu-Karpen), deşi Marie Curie şi-a manifestat unele rezerve. — *N.I.-P.*

S-a înţeles rapid interesul unei numărări a radiaţiilor, adică a detectării individuale a fiecărei particule. Crookes, Elster şi Geitel au arătat, în 1903, că dacă radiaţiile α ating un ecran fluorescent, ca cel de platinocianură de bariu sau de sulfură de zinc, acesta produce în punctul de incidenţă o luminescenţă de foarte scurtă durată. Această metodă de numărare a fost mult folosită, permiţînd descoperiri fructuoase.

Începînd din 1911, fizicienii au avut la dispoziţie, datorită lui C.T.R. Wilson, un instrument minunat de observare: camera cu detentă, denumită mai des camera Wilson. Acest aparat permite observarea traiectoriilor individuale ale particulelor ionizante — radiaţiile α sau β.

Metoda constă în provocarea condensării unor picături fine de apă de către ionii produşi de-a lungul traiectoriei, care fac astfel vizibilă traiectoria radiaţiilor. Acest rezultat se obţine prin provocarea unei detente bruşte într-o incintă care conţine un gaz saturat cu vapori de apă; în cursul acestei operaţii, temperatura mediului scade; se observă că în anumite condiţii nu apare condensarea vaporilor, ci o stare de suprasaturare. Totuşi, la apariţia ionilor, are loc condensarea în jurul acestor centre cu sarcină; în acest fel, trecerea unei particule prin camera respectivă, imediat înaintea detentei, produce de-a lungul traiectoriei sale un fascicul de ioni care se materializează prin formarea unor picături fine. Printr-o iluminare intensă, aceste picături reflectă lumina, permiţînd fotografierea lor.

În 1913, a fost pus la punct de către Rutherford şi Geiger un dispozitiv de numărare electrică a particulelor individuale. Perfecţionat în 1928, mai ales de Müller, el este folosit şi acum în numeroase ocazii sub denumirea de contor Geiger-Müller.

Dacă o particulă ionizantă traversează un mediu gazos în care domneşte un cîmp electric intens, ionii creaţi de trecerea particulei, în deplasarea sa rapidă, pot provoca la rîndul lor ionizarea gazului, declanşînd un proces în cascadă, care permite obţinerea unui impuls electric uşor de detectat.

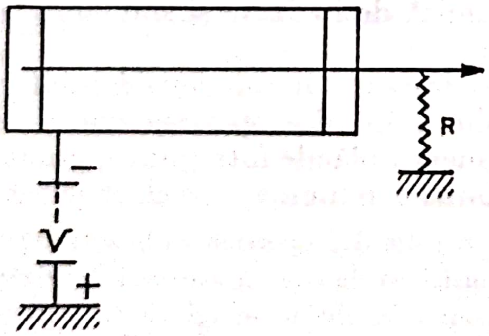


FIG. 8 SCHEMA CONTORULUI GEIGER-MÜLLER

Un astfel de dispozitiv este schiţat de figura 8; el este format dintr-un cilindru de cîţiva centimetri diametru, în interiorul căruia se găseşte un fir metalic de-a lungul axei şi în care se menţine un cîmp electric intens prin aplicarea unei diferenţe de potenţial *V*.

Toate aceste metode au cunoscut de atunci perfecţionări considerabile, care au condus continuu la progrese importante.

EVOLUŢIA SUBSTANŢELOR RADIOACTIVE. FAMILIILE RADIOACTIVE. William Crookes remarcase deja variaţiile de radioactivitate ale unor probe de uraniu natural şi uraniu X, pe care el reuşise să le separe. În 1902, Rutherford şi Soddy au observat acelaşi lucru şi au reuşit să traseze curba dezintegrării anumitor substanţe radioactive şi să pună în evidenţă noţiunile de *constantă radioactivă* şi de *viaţă medie*. Teoria transformărilor radioactive pe care ei au prezentat-o (*Philosophical Magazine*, mai 1903), a permis coordonarea coerentă a cunoştinţelor acumulate asupra radiaţiilor şi asupra noilor substanţe radioactive de viaţă scurtă. În această teorie se presupune că radioactivitatea este o proprietate atomică, care traduce procesul transformărilor atomilor de o specie dată, în noi atomi, corespunzători altei specii. Un atom radioactiv suferă deci, la un moment dat, o transformare însoţită de emisia unei radiaţii, transformare care nu depinde de condiţiile fizice sau chimice ce pot fi realizate pe Pămînt.

Bazele teoriei evoluţiei substanţelor radioactive se traduc astfel printr-o lege exponenţială, $N = N_0 e^{-\lambda t}$, unde N reprezintă numărul de atomi care nu au suferit încă vreo transformare la momentul t, iar N_0 este numărul de atomi prezenţi la momentul $t = 0$; λ este o constantă caracteristică vitezei de dezintegrare. Această lege poate fi pusă şi sub o formă diferenţială, $dN = -\lambda N \, dt$, care reprezintă faptul că numărul de atomi dN care se transformă în intervalul dt este proporţional cu numărul N de atomi prezenţi.

S-a putut apoi demonstra că radioelementele descoperite au relaţii genetice reciproce şi că ele provin fie din uraniu, fie din thoriu. În acest mod, s-au descoperit aşa-numitele „familii radioactive“, care reprezintă procesele prin care o substanţă se transformă în alta: fie prin radioactivitate α, fie prin radioactivitate β. Aceste relaţii au permis prevederea existenţei anumitor elemente necunoscute încă, ca ioniul sau protactiniul, de exemplu.

EFECTELE BIOLOGICE ALE RADIAŢIILOR. După Walkhoff şi Geitel, P. Curie şi Becquerel au observat că radiaţiile produse de radiu provoacă arsuri.

P. Curie şi-a expus voluntar braţul la acţiunea unei săruri de radiu. Încă din 1904, medicul francez Danlos efectua primele încercări de utilizare terapeutică a radiului la cancerul pielii. De atunci, importanţa acestor aplicaţii a crescut continuu. Utilizarea medicală a radiaţiilor, fie sub formă de surse externe, fie sub formă de surse interne, a primit denumirea de curieterapie. Încă din acei ani, au fost încercate diferite experienţe pentru a studia influenţa radioactivităţii asupra creşterii plantelor. Aceste efecte au dovedit foarte curînd necesitatea de a lua un număr de precauţii la manipularea surselor radioactive, pentru a evita pericolele legate de înghiţirea substanţelor radioactive şi de acţiunea radiaţiilor penetrante provenite din exterior.

DESCOPERIREA NUCLEULUI. IZOTOPII. După o perioadă extrem de fecundă de 5—6 ani, care a urmat descoperirii radioactivităţii, a trebuit să se aştepte anul 1911 şi anii următori pentru ca să apară noi progrese esenţiale şi, în special, descoperirea nucleului şi a transmutaţiilor nucleare de către Rutherford.

Prin 1911, se ştia că electronii intră în constituţia atomilor, iar Barkla demonstrase că fiecare atom conţine aproximativ $A/2$ electroni. J.J. Thomson a propus un model de atom, adoptat destul de rapid, în care electronii erau distribuiţi în interiorul unei sfere încărcate pozitiv. Pentru a verifica această ipoteză, Rutherford a încercat să folosească radiaţiile emise de substanţele radioactive şi mai ales radiaţiile α. Într-un astfel de model, deviaţia prevăzută pentru o particulă în cazul traversării atomului ar fi trebuit să fie de 1—2°. Experienţa a arătat însă că aveau loc deviaţii chiar mai mari de 90°, în special în cazul nucleelor grele.

În figura 10 este schiţat dispozitivul experimental. În *S* este plasată sursa emiţătoare de radiaţii; *F* este o foiţă metalică de cîţiva microni grosime, iar *E* şi *E′* sînt ecrane cu sulfură de zinc, care permit observarea ciocnirii particulelor α prin scintilaţiile produse de acestea.

Deviaţiile mari, observate pentru prima dată de Rutherford şi colaboratorii săi, Geiger şi Marsden, au fost interpretate teoretic de Rutherford, care a con-

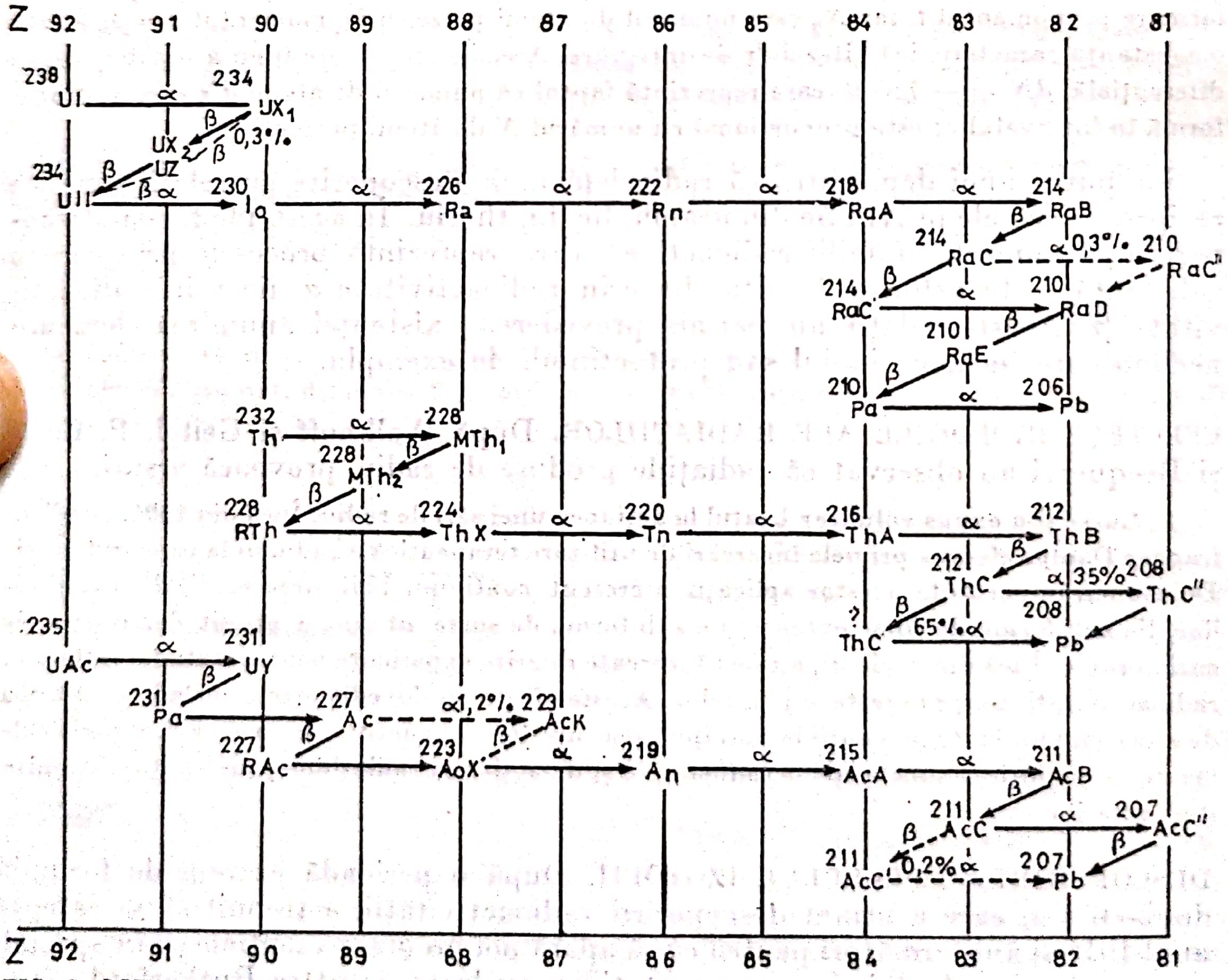

Z
92
91
90
89
88
87
86
85
84
83
82
81
238 UI
α
234 UX₁
β
UX₂
0,3%
β
234 UII
β
UZ
β α
230 Io
α
226 Ra
α
222 Rn
α
218 RaA
α
214 RaB
β
214 RaC
α 0,3%
210 RaC″
β
214 RaC′
α
210 RaD
β
210 RaE
β
210 Po
α
206 Pb
232 Th
α
228 MTh₁
β
228 MTh₂
β
228 RTh
α
224 ThX
α
220 Tn
α
216 ThA
α
212 ThB
β
212 ThC
α 35%
208 ThC″
?
β
ThC′
65% α
208 Pb
235 UAc
α
231 UY
β
231 Pa
227 Ac
α 1,2%
223 AcK
β
β
227 RAc
223 AcX
α
219 An
α
215 AcA
α
211 AcB
β
211 AcC
α
207 AcC″
β
β
211 AcC′
0,2% α
207 Pb
Z 92
91
90
89
88
87
86
85
84
83
82
81

FIG. 9. SCHEMA FAMILIILOR RADIOACTIVE NATURALE.

siderat că fiecare dintre acestea se datorează unei ciocniri unice a unei particule α cu aceşti atomi. Pentru a explica acest fenomen, era necesar să se admită existenţa unui nucleu central, a cărui masă să fie aproximativ egală cu cea a atomului şi cu sarcină identică în valoare absolută cu suma sarcinilor tuturor electronilor. Aceste experienţe sînt de o mare eleganţă, iar geniul lui Rutherford reiese clar din ele; numărul deviaţiilor mari, numite şi ciocniri excepţionale, nu depăşeşte cîteva pînă la 100 000 particule α.

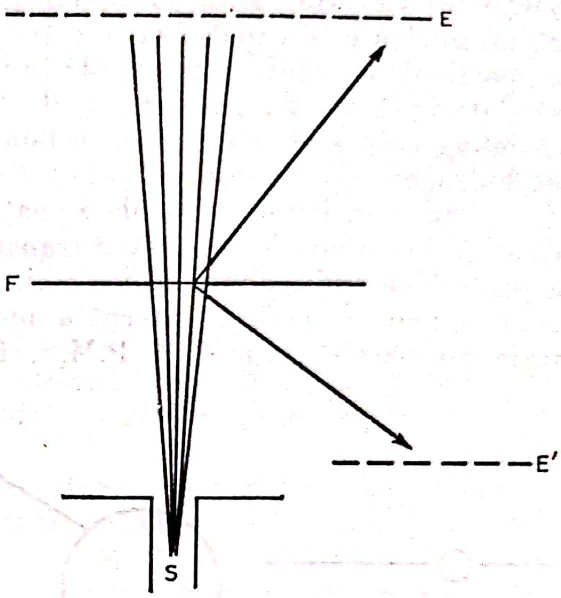


FIG. 10. PUNEREA ÎN EVIDENŢĂ A EXISTENŢEI NUCLEULUI ATOMIC (E. RUTHERFORD, (1919)

Experienţele lui Rutherford au permis şi determinarea ordinului de mărime al dimensiunilor nucleului şi au furnizat primele manifestări ale forţelor nucleare, provocate de om.

În cazul nucleelor grele, legea lui Coulomb este suficientă, într-adevăr, pentru a explica ciocnirile excepţionale, în timp ce pentru nucleele uşoare şi pentru unghiuri de împrăştiere suficient de mari, numărul de radiaţii α împrăştiate nu corespunde previziunilor legii lui Rutherford (ciocniri anormale). Astfel, în cazul nucleelor uşoare, particula α se poate apropia suficient de mult de nucleu, pentru a interveni un nou tip de forţe, forţele nucleare (distanţele ce intervin în acest caz sînt de ordinul a 10^{-13} cm).

Aceste fapte se găsesc la baza modelului planetar al atomului, elaborat de Niels Bohr (1913). În aceeaşi perioadă (1913), J.J. Thomson a descoperit izotopii stabili. Studiind masa exactă a atomilor de neon, el a observat două specii de atomi, de masă 20 şi 22, şi a emis imediat ipoteza că neonul este format din două gaze cu proprietăţi chimice aproximativ identice, pe care F. Soddy le-a denumit izotopi. Aceste cercetări au fost reluate în 1919 de F.W. Aston, care a stabilit existenţa mai multor izotopi stabili la un mare număr de elemente. Descoperirea izotopilor stabili a completat în mod armonios studiul radioelementelor, care, conform ipotezei lui Soddy asupra transformărilor radioactive, a condus la stabilirea faptului că atomii ce corespund aceleiaşi valori a lui Z, dar care au mase şi proprietăţi radioactive diferite, pot să ocupe aceeaşi căsuţă din tabelul lui Mendeleev.

TRANSMUTAŢIILE RADIOACTIVE (1919). Transmutaţiile corespund faptului că un nucleu este capabil să se transforme atunci cînd este supus bombardării cu particule capabile să pătrundă în interiorul lor. Această descoperire capitală se datorează lui E. Rutherford de la Laboratorul Cavendish din Cambridge (Anglia), care a observat că prin bombardarea azotului cu radiaţii α, apar ioni de hidrogen, sau protoni (fig. 11). El a considerat că aceşti protoni sînt emişi de nucleu atunci cînd particula α poate interacţiona cu el. Foarte rapid s-au precizat şi caracteristicile acestor transmutaţii; s-a constatat că energia cinetică a protonilor emişi poate să fie mai mare decît cea a particulei α incidente şi că, prin urmare, energia internă a nucleului intervine în fenomenul de transmutaţie radioactivă. În 1923, P.M.S. Blackett a observat, prin fotografierea a 400 000 de traiectorii în camera Wilson, opt cazuri de transmutaţie şi a stabilit, din studiul traiectoriilor, că particula α este captată de nucleu în cursul procesului de transmutaţie: această reacţie nucleară se scrie sub forma ${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$.

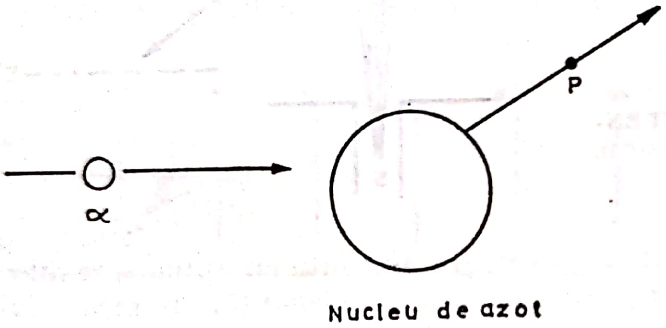


Fig. 11. PRODUCEREA UNUI PROTON PRIN BOMBARDAREA UNUI NUCLEU DE AZOT CU RADIAŢII α.

Pentru prima dată, omul reuşea transformarea unui tip de atom (azot) într-un alt tip (oxigen), realizînd astfel visul alchimiştilor. Transmutaţiile (reacţiile nucleare) sînt realizate astăzi în mod curent cu proiectile dintre cele mai diferite.

S-a admis imediat că principiile de conservare a energiei şi a cantităţii de mişcare sînt satisfăcute în cursul transmutaţiilor radioactive şi, în particular, că energia internă corespunde variaţiei de masă a sistemului. Astfel, în reacţia nucleară de mai sus, se poate scrie $M_N + M_\alpha = M_0 + M_p + Q/c^2$, unde Q este energia ce intervine în reacţie, c^2 este pătratul vitezei luminii, iar Q/c^2 are dimensiunile unei mase (conform relaţiei lui Einstein, $E = mc^2$).

RADIOACTIVITĂŢILE β şi α. Între 1920 şi 1930, au fost efectuate numeroase cercetări în vederea precizării cunoştinţelor acumulate asupra radioelementelor, asupra condiţiilor de emisie a radiaţiilor şi asupra proprietăţilor acestora.

Prin 1907, H.W. Schmidt, precum şi O. Hahn şi L. Meitner au constatat că radiaţiile β sînt absorbite după o lege exponenţială, spre deosebire de radiaţiile α, care au un parcurs bine definit în materie. Experienţele de deviere magnetică efectuate mai tîrziu de W. Wilson şi J.A. Gray, precum şi de J. Chadwick, au pus în evidenţă pentru prima dată faptul că radiaţiile β formează un spectru continuu de energii şi au oferit astfel explicarea legii lor de absorbţie. Peste spectrul continuu apar, totuşi, suprapuse, linii discrete; abia prin 1922 s-a stabilit că acestea sînt linii de conversie internă, legate de emisia fotonilor; conversia internă este fenomenul prin care energia eliberată de nucleu este cedată unui electron de pe orbitele atomice.

Originea caracterului continuu al radiaţiilor β a rămas mult timp inexplicabilă. În 1925, C.D. Ellis şi Wooster, iar în 1930 L. Meitner şi Orthmann, au adus o contribuţie importantă, stabilind că energia medie a radiaţiilor β reprezintă aproximativ 1/3 din energia maximă; dar abia în 1933, Ellis şi N.F. Mott au arătat că energia maximă este cea eliberată în cursul transformării prin radioactivitate β, şi au stabilit definitiv dificultatea fundamentală, după care o fracţiune importantă din energia eliberată pare să dispară în cursul radioactivităţii β. Pentru a salva principiul conservării energiei, Pauli a propus în 1931 existenţa unei particule ipotetice, *neutrinul*, cu masă şi sarcină nule, care ar lua cu el energia „dispărută“, fiind emisă în acelaşi timp cu electronul de dezintegrare.

Pînă în 1929, se considera că fiecare radioelement α-emiţător este caracterizat printr-un singur grup de radiaţii cu energie (adică cu parcurs) bine determinată. Folosind metoda de analiză prin spectrografie semicirculară, S. Rosemblum a descoperit, în 1929, structura fină, dovedind că radiaţiile α ale ThC sînt formate din diferite grupe de energii foarte apropiate. Numeroase cercetări au permis evidenţierea generalităţii fenomenului. Pînă în 1928, emisia radiaţiilor α de către nuclee era considerată de neînţeles. De fapt, s-a stabilit că radiaţiile α emise de uraniu au o energie de ordinul a 4 MeV, în timp ce radiaţiile α de 8 MeV sînt deviate de nuclee conform legii lui Coulomb, şi deci nu pătrund în interiorul nucleului. Explicaţia acestei enigme a fost găsită simultan de Gamow şi de Gurney şi Condon, care au folosit mecanica ondulatorie la studiul problemei emisiei α şi au arătat că există o mică probabilitate pentru ca o particulă α să poată traversa bariera de potenţial a nucleului (1928).

Astfel, cercetările efectuate în jurul anului 1930 asupra radioactivităţii, în special în Franţa, Anglia, Germania şi Austria, au condus la o cunoaştere destul de completă a familiilor radioelementelor naturale şi a proprietăţilor principale ale acestor radioelemente şi ale radiaţiilor lor, cunoaştere care părea suficientă. Unii cercetători considerau că ştiinţa radioactivităţii a ajuns în stadiul în care mai erau necesare de realizat doar cercetările de amănunt. În acel moment, a apărut un nou avînt al radioactivităţii şi al fizicii nucleare.

B. RADIOACTIVITATEA ŞI FIZICA NUCLEARĂ ÎNTRE 1930 ŞI 1940

DESCOPERIREA NEUTRONULUI. După realizarea primei transmutaţii nucleare provocate de Rutherford în 1919, numeroşi cercetători s-au consacrat studiului acestei noi ramuri a ştiinţei şi au demonstrat posibilitatea transmutării unui mare număr de elemente uşoare, bombardate cu radiaţiile α ale poloniului. Slaba intensitate a surselor folosite şi raritatea fenomenului nu au permis identificarea elementelor formate şi numai un studiu balistic putea demonstra de exemplu că în aluminiul bombardat cu radiaţiile α ale poloniului, se formează siliciu, în urma expulzării unui proton cu energie mare.

În 1928, Gurney, Condon şi Gamow au arătat că posibilitatea de a obţine o transmutaţie cu ajutorul unei particule încărcate pozitiv depinde direct de forţele de respingere electrice dintre această particulă şi nucleul-ţintă. Reluînd studiul acestei probleme la Laboratorul Cavendish, de sub conducerea lui Rutherford, Cockroft a pus în evidenţă importanţa protonilor ca particule-proiectile şi a abordat, împreună cu Walton, problema producerii protonilor cu viteze suficient de înalte.

Totuşi, una dintre primele mari descoperiri din cadrul studiului experimental al transmutaţiilor avea să fie efectuată datorită utilizării radiaţiei α a radioelementelor naturale.

În 1930, W. Bothe şi Becker au arătat că un anumit număr de nuclee uşoare, în special beriliul, litiul şi borul, emit o radiaţie foarte pătrunzătoare cînd sînt bombardate cu radiaţiile α ale poloniului. Această radiaţie era capabilă să traverseze grosimi considerabile de materie, de exemplu mai mulţi centimetri de plumb, fără o atenuare importantă. Folosind calculele lui Klein şi Nishina, Bothe, şi Becker au propus explicarea acestei mari puteri de pătrundere prin natura electromagnetică a radiaţiei respective şi printr-o energie ridicată (14 MeV în cazul beriliului), cu mult superioară radiaţiilor cunoscute şi foarte surprinzătoare în acea vreme.

„Radiaţia beriliului“ a lui Bothe şi Becker a condus la numeroase cercetări experimentale, dar abia peste doi ani Irène Curie şi Frédéric Joliot aveau să descopere o proprietate şi mai surprinzătoare a acestei radiaţii. Datorită cantităţilor mari de radioelemente naturale disponibile la Institutul radiului din Paris, ei au putut prepara surse intense de poloniu pentru a studia radiaţia lui Bothe şi Becker, în condiţii excelente. Folosind ca detector o cameră de ionizare, cu perete subţire de aluminiu, ei au putut observa o creştere considerabilă a curentului de ionizare în cazul intercalării unei foiţe subţiri dintr-o substanţă hidrogenată (celofan) între sursă şi detector.

După cum au arătat experienţele de absorbţie, acest efect se datora unei radiaţii secundare emise de substanţa hidrogenată, care era complet absorbită de un ecran foarte subţire de aluminiu. Proprietăţile acestei radiaţii secundare erau identice cu cele ale „radiaţiilor H“ (protoni), ceea ce avea să fie confirmat şi prin observarea protonilor de recul, în camera Wilson.

Energia protonilor de recul, observaţi de I. Curie şi F. Joliot, nu era în contradicţie fundamentală cu ipoteza naturii electromagnetice a radiaţiei lui Bothe şi Becker, dar această ipoteză necesita admiterea existenţei unei energii de ordinul a 50 MeV. Această energie extrem de mare era însă incompatibilă cu anumite date experimentale şi cu ceea ce se cunoştea deja, asupra manifestărilor energetice legate de transmutaţiile nucleare.

Aceste experienţe au fost reluate de J. Chadwick, Feather şi Dee la Cambridge; de P. Auger, M. de Broglie, Dupré-Latour, Leprince-Ringuet şi J. Thibaud la Paris şi de Rasetti la Berlin. Aceste noi experienţe au confirmat rezultatele lui I. Curie şi F. Joliot şi au scos în evidenţă noi contradicţii între proprietăţile experimentale ale radiaţiei lui Bothe şi Becker şi ipoteza naturii sale electromagnetice.

Natura exactă a acestei radiaţii trebuia deci descoperită. După 1920, Rutherford a luat în considerare posibilitatea existenţei unei particule neutre de masă apropiată de cea a protonului, pe care a denumit-o *neutron*. Reluată ulterior şi de către alţi fizicieni, această ipoteză nu avea, în 1932, nici o bază experimentală sau teoretică. La Laboratorul Cavendish, unde se născuse această ipoteză, se termina tocmai atunci de pus la punct un nou detector: camera de ionizare cu impulsuri.

Pînă atunci, detectorii folosiţi erau mai ales camera de ionizare, camera Wilson şi contorul cu scintilaţii vizuale. Dezvoltarea tehnicii electronice a permis utilizarea a două tipuri noi de detectori; camera de ionizare cu descărcare, sau contorul Geiger-Müller, şi camera de ionizare proporţională, sau cu impulsuri.

Aceşti doi detectori furnizează un impuls electric, în momentul trecerii unei particule ionizante prin volumul util al contorului. În primul caz, o singură pereche de ioni este suficientă pentru a iniţia descărcarea, iar amplitudinea impulsului electric apărut este constantă, oricare ar fi energia pierdută de particula ionizantă. În al doilea caz, dimpotrivă, amplitudinea impulsului este proporţională cu energia pierdută de particula ionizantă, în gazul din cameră. Măsurarea unei mărimi electrice în impulsuri permite deci înlocuirea studiului îndelungat şi dificil al plăcilor fotografice obţinute la camera Wilson.

James Chadwick a reuşit să demonstreze, cu ajutorul acestui detector, că nucleele de recul, produse prin acţiunea radiaţiei lui Bothe şi Becker asupra diferitelor elemente, provin din ciocniri elastice cu o particulă neutră, de masă apropiată de cea a protonului.

Reacţia care are loc în beriliu se poate deci scrie: $^{9}_{4}\mathrm{Be} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{12}_{6}\mathrm{C} + ^{1}_{0}\mathrm{n}$, unde n simbolizează neutronul.

Descoperirea experimentală a neutronului de către J. Chadwick a permis introducerea unei noi componente în nucleele atomice şi a eliminat principalele dificultăţi ale modelelor nucleare precedente. Un nucleu de sarcină Z şi de greutate atomică A este deci format din Z protoni şi $A - Z$ neutroni. Modelul atomului neutru, format din nucleu şi din cortegiul său de Z electroni, nu mai necesita prezenţa greu de admis a electronilor nucleului, iar descoperirea neutronului furniza baze solide viitoarelor modele nucleare.

ELECTRONUL POZITIV. Pe clişeele obţinute la camera Wilson de I. Curie şi F. Joliot, cu ocazia studierii nucleelor de recul, se puteau observa numeroase traiectorii ale unor electroni de mare energie, dintre care unele erau curbate în sens invers de către cîmpul magnetic, părînd a proveni dintr-o regiune îndepărtată de sursă şi îndreptîndu-se spre ea. Explicarea acestor traiectorii printr-un efect secundar al neutronilor în pereţii camerei se lovea de un anumit număr de contradicţii. Printre altele, energia maximă a electronilor nu putea fi explicată printr-o ciocnire neutron-electron, iar I. Curie şi F. Joliot considerau că traiectoriile observate proveneau atît dintr-o emisie γ a sursei de Po-Be, cît şi dintr-o emisie γ datorată unei radiaţii secundare provocată de neutroni în pereţii camerei.

Prima ipoteză urma să fie verificată imediat după aceea, dar originea traiectoriilor curbate în sens invers avea să fie regăsită în radiaţiile cosmice. Studiind, ca şi alţi numeroşi fizicieni, radiaţia cosmică, cu ajutorul camerei Wilson, C.D. Anderson a semnalat, în 1932, prezenţa unor particule încărcate pozitiv. Iniţial, el a explicat aceste urme prin prezenţa unor protoni de mare energie, dar a constatat curînd că o parte din aceste traiectorii pozitive se datora unor particule cu mase mult mai mici decît protonul, pe care le-a numit „pozitroni".

Numărul traiectoriilor observate de Anderson era mic, deoarece în metoda detentelor periodice doar 1% dintre clişee conţineau urma trecerii unei particule ionizante. Declanşînd detenta camerei lor cu ajutorul a doi contori Geiger-Müller în coincidenţă, Blackett şi Occhialini au obţinut mai mult de 80% dintre clişee utilizabile şi au putut demonstra că particulele pozitive ale lui Anderson au o masă extrem de apropiată de cea a electronului.

Aceştia erau deci electronii pozitivi prevăzuţi încă din 1930 de teoria lui Dirac, iar prezenţa traiectoriilor de electroni curbate în sens invers pe clişeele Wilson, obţinute în cursul studiilor radiaţiei lui Bothe şi Becker, era pusă într-o nouă lumină. Experienţele reluate de L. Meitner şi Philip, Chadwick, Blackett şi Occhialini au confirmat existenţa traiectoriilor observate de I. Curie şi F. Joliot şi au arătat că electronii pozitivi pot fi creaţi în ecrane de plumb plasate în centrul camerei Wilson.

Studiind intensitatea electronilor pozitivi în funcţie de numărul atomic al ecranului, I. Curie şi F. Joliot au arătat apoi că cea mai mare parte a electronilor pozitivi apare sub acţiunea radiaţiei γ a sursei Po—Be asupra ecranului de plumb. Anderson, Meitner şi Philip, I. Curie şi F. Joliot au constatat simultan că radiaţia γ energică, emisă de anumite radioelemente naturale, dă naştere aceluiaşi fenomen.

Aceste cercetări au arătat că un foton de mare energie, care întîlneşte un nucleu, se transformă în doi electroni de semn contrar. Această „materializare" (după expresia propusă de Marie Curie) necesită o cheltuială de energie corespunzătoare masei de repaus a celor doi electroni, iar energia suplimentară eventuală a fotonului se regăseşte în energia cinetică a celor doi electroni. S-a explicat astfel fenomenul de absorbţie suplimentară a radiaţiilor γ constatată de Gentner peste 1,1 MeV.

Teoria lui Dirac prevedea şi faptul că un electron pozitiv trebuia să aibă o viaţă foarte scurtă în materie, anihilîndu-se la întîlnirea cu un electron negativ, iar transformarea celor doi electroni este însoţită de emisia simultană, în sensuri opuse, a doi fotoni de cîte 511 keV. Acest din urmă fenomen a fost pus în evidenţă simultan de F. Joliot şi J. Thibaud, prin absorbţia unui fascicul de electroni pozitiv în materie şi prin studiul radiaţiei γ emise, efectuat cu un contor Geiger-Müller (1933).

RADIOACTIVITATEA ARTIFICIALĂ. În anumite cazuri, fenomenul materializării unui foton poate avea loc în domeniul nucleului emiţător. Această „materializare internă“ a fost observată de I. Curie şi F. Joliot în cursul studierii emisiei electronilor pozitivi de către beriliul bombardat cu particulele α ale poloniului. Teoria acestui fenomen, elaborată la scurt timp de Oppenheimer şi Nedelsky, concordă în ceea ce priveşte numărul de perechi $e^+ - e^-$, observate experimental. Dimpotrivă, emisia de electroni pozitivi de către fluor, aluminiu, sodiu şi bor, iradiate, nu a putut fi explicată prin acest fenomen, iar electronii respectivi au fost denumiţi de I. Curie şi F. Joliot „electroni pozitivi de transmutaţie“. Transmutaţia acestor elemente sub acţiunea particulelor este însoţită în general de emisia unui proton de mare energie, dar în anumite cazuri sînt emişi un neutron şi un electron pozitiv; aceste două reacţii nucleare diferite conduc la acelaşi element stabil.

Studiul bilanţului energetic al celor două reacţii a permis lui I. Curie şi F. Joliot o nouă determinare a masei neutronului şi demonstrarea faptului că, spre deosebire de ceea ce se presupunea, această masă este superioară celei a protonului. Acest rezultat a fost confirmat puţin mai tîrziu de Chadwick şi Goldhaber în studiul fotodezintegrării deuteronului, care este nucleul izotopului greu al hidrogenului şi care a fost descoperit în 1932 de Urey, Brickweddle şi Murphy.

În primele zile ale anului 1934, studiul „electronilor de transmutaţie“ avea să conducă pe I. Curie şi F. Joliot la o descoperire importantă, în condiţiile următoare, evocate de F. Joliot:

> „Dovedind că transmutaţiile unor elemente ca ^{10}Be, F, Na, Al, cu ajutorul radiaţiilor α ale poloniului, dădeau naştere unei emisii de neutroni şi pozitroni, noi am studiat în primul rînd dacă emisiile neutronului şi a pozitronului aveau loc pentru acelaşi prag de energie a radiaţiilor α incidente şi, în al doilea rînd, dacă în aceste condiţii emisia lor avea loc simultan.
>
> Statistica energiilor pozitronilor emişi, dedusă din cea a razelor de curbură a traiectoriilor acestor particule, arăta că avem de-a face cu un spectru asemănător unui spectru continuu al radiaţiilor β ale unui radioelement natural. Totuşi, la început, nu am fost prea şocaţi de această asemănare. Am întreprins programul de cercetări expus la începutul acestui paragraf. La început am stabilit că neutronii şi pozitronii începeau să fie emişi la aceeaşi energie a radiaţiilor α (acelaşi prag), dar — şi aceasta a constituit esenţialul descoperirii — am observat că după ce am iradiat cu radiaţii α cu o energie superioară pragului de emisie a neutronilor şi pozitronilor, dacă se micşora energia radiaţiilor α sub prag sau chiar la zero, emisia neutronilor înceta imediat, *în timp ce cea a pozitronilor continua să aibă loc*“.

„Electronii de transmutaţie“ proveneau deci dintr-un nou tip de radioactivitate, iar articolul din *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, din 15 ianuarie 1934, anunţa simultan descoperirea radioactivităţii artificiale şi a unui nou mod de dezintegrare β, prin emisia electronilor pozitivi. După cîteva zile, un nou articol aducea prima dovadă chimică a transmutaţiilor, prin efectuarea analizei chimice a radioelementelor produse.

Procesul de emisie a electronilor pozitivi de către aluminiul iradiat era astfel explicat: reacţia nucleară $^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{30}_{15}\mathrm{P} + ^{1}_{0}n$ produce un izotop al fosforului, de masă 30, care prezintă radioactivitate β^+, cu o perioadă de aproximativ 3 minute: ${}^{30}_{15}P \rightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{0}_{1}e^+$, în care siliciul de masă 30 este un izotop stabil. Radioactivitatea β^- poate fi astfel interpretată prin transformarea unui neutron într-un proton, în interiorul nucleului, iar noua radioactivitate β^+, prin procesul invers.

Aceste experienţe au fost reluate rapid în mai multe ţări, iar Ellis şi Anderson, Meitner, Frisch, printre alţii, au confirmat rezultatele obţinute de I. Curie şi F. Joliot. Aceştia au sugerat că pot apărea şi alte elemente radioactive noi, prin iradierea elementelor cunoscute, cu diverse proiectile ca particule α, protoni, deuteroni şi neutroni. S-a observat atunci că acceleratoarele de particule, realizate deja de Cockroft şi Walton în Anglia şi E. O. Lawrence în Statele Unite, produceau cantităţi considerabile de radioelemente artificiale. Dezvoltarea cercetărilor în acest domeniu şi perfecţionarea acceleratoarelor de particule aveau să conducă la crearea unei ştiinţe noi: chimia nucleară. Primele experienţe au fost efectuate cu toate mijloacele posibile, cu surse radioactive naturale şi cu acceleratoare de particule, iar lista noilor radioelemente s-a mărit din zi în zi.

Istoricul acestei noi ştiinţe avea să fie marcat de la început de cercetările întreprinse în laboratorul lui Enrico Fermi de la Roma. Fermi dispunea de un gram de radiu şi de o instalaţie de extracţie a radonului, ceea ce i-a permis realizarea unei surse de neutroni prin bombardarea α a pulberii de beriliu, plasată într-un tub cu radon.

Imediat ce a aflat de lucrarea lui I. Curie şi F. Joliot, Fermi s-a gîndit că folosirea unei astfel de surse de neutroni putea să mărească considerabil posibilităţile de creare a noilor radioelemente artificiale. Într-adevăr, respingerea de către sarcina nucleului a particulelor încărcate pozitiv limitează posibilitatea reacţiilor nucleare provocate la nucleele uşoare. Un astfel de inconvenient nu apare însă la neutroni şi el trebuie să fie capabil să provoace reacţii nucleare la toate elementele din tabelul periodic.

În martie 1934, Fermi a efectuat această experienţă. După încercări infructuoase asupra primelor elemente din tabelul periodic, el a observat o radioactivitate nouă după iradierea fluorului. Folosind metodele radiochimiei, Fermi şi colaboratorii săi au putut separa în cîteva luni un mare număr de radioelemente uşoare şi grele. Aceste radioelemente erau obţinute în special prin reacţiile nucleare (n, α) şi (n, p) pentru nucleele uşoare şi $(n, 2n)$ şi (n, γ) pentru nucleele grele. După aproape şase luni de la începutul experienţelor, ei au constatat întîmplător că activitatea obţinută prin reacţii (n, γ) era mult mai intensă dacă se intercala apă sau parafină între sursa de neutroni şi elementul iradiat. Neutronii rapizi emişi de sursă erau încetiniţi prin ciocniri elastice cu protonii substanţei hidrogenoide, devenind „lenţi" şi apoi „termici", adică în echilibru energetic cu agitaţia termică a moderatorului. Ei au putut astfel să arate că un nucleu captează un neutron cu o probabilitate cu atît mai mare cu cît viteza neutronului este mai mică şi cu cît timpul petrecut în vecinătatea nucleului este mai mare. Pentru anumite viteze ale neutronului, se observa chiar o creştere discontinuă a absorbţiei, care prezenta caracteristicile unei adevărate rezonanţe.

Datorită acestor perfecţionări ale metodei de producere a radioelementelor, Fermi şi colaboratorii săi au reuşit să producă izotopii radioactivi ai tuturor elementelor, cu excepţia hidrogenului, heliului şi unei părţi din elementele radioactive naturale.

FISIUNEA URANIULUI. În reacţiile de captură studiate de Fermi, un neutron este capturat de nucleul iradiat, iar noul nucleu format eliberează o parte din energia acumulată, emiţînd o radiaţie γ. Noul nucleu este deci un izotop al substanţei iniţiale şi, în majoritatea cazurilor, acest izotop este instabil datorită excesului de neutroni, ceea ce conduce la dezintegrarea lui cu emisia unui electron negativ. În final, se obţine deci un nucleu cu sarcină pozitivă mai mare, care aparţine unui element din căsuţa superioară din tabelul periodic. Acest proces, care constituie o regulă pentru toate nucleele grele, a căpătat un interes deosebit odată cu aplicarea lui la ultimul element din tabelul periodic, la uraniu, cu numărul atomic 92.

Fermi, Rasetti şi d'Agostino au efectuat această experienţă şi au găsit patru radioelemente noi cu durate de înjumătăţire de 10 s, 40 s, 13 minute şi 1 h şi 30 min, dintre care ultimele două nu erau izotopii nici unui element vecin al uraniului. Folosirea „efectului parafinei“ a adăugat alte noi radioactivităţi, iar cercetările întreprinse au dus la concluzia existenţei a două elemente „transuraniene“, cu numărul atomic 93 şi 94, care au fost botezate, pentru scurtă durată, „anseniu“ şi „hesperiu“.

Între timp, alţi cercetători au fost preocupaţi de studiul activităţilor provenite din uraniul iradiat cu neutroni. Printre alţii, Hahn, Lise Meitner şi Strassman au descoperit formarea unui mare număr de noi radioelemente transuraniene, legate între ele prin legături radioactive, extinzîndu-se de la numărul atomic 93 pînă la numărul 97. Aceste elemente au fost denumite, în ordine: ekareniu, ekaosmiu, ekairidiu, ekaplatin şi ekaaur, datorită analogiilor chimice respective. Această intrepretare se lovea totuşi de importante dificultăţi. Numărul tot mai mare al radioelementelor transuraniene şi intensitatea considerabilă a formării lor conduceau, de exemplu, la un număr excesiv de diferite radioactivităţi pentru acelaşi izotop (izomeri radioactivi).

Pentru a căuta un răspuns la aceste probleme, Irène Curie şi Savitch au studiat radioactivităţile formate prin selecţionarea radiaţiilor cu ajutorul unor ecrane absorbante de cupru. Separarea chimică a unei noi radioactivităţi formate, cu perioadă de 3,5 h, conducea la atribuirea unor proprietăţi chimice asemănătoare cu ale lantanului, iar I. Curie şi Savitch au tras concluzia că există un element transuranian care are proprietăţile chimice ale unui pămînt rar şi au subliniat dificultăţile unei astfel de interpretări. Alte cercetări, efectuate în special de Braun, de Preiswerk şi Scherrer şi de Droste, nu au rezolvat această problemă.

În cursul anului 1938, Hahn şi Strassman au semnalat existenţa unor noi activităţi omoloage chimic cu bariul, pe care le-au atribuit imediat unor izotopi ai radiului şi pe care le-au supus apoi unei analize chimice riguroase. Rezultatul final al acestui studiu, publicat la 6 ianuarie 1939, avea să rezolve, într-un mod surprinzător, problema elementelor transuraniene. Hahn şi Strassman conchideau:

> „În calitate de chimişti, ar trebui ca după experienţele descrise să modificăm denumirile... şi să înlocuim Ra, Ac, Th, cu simbolurile Ba, La şi Ca. În calitate de „chimişti nucleari", mai apropiaţi într-un anumit mod de fizică, nu putem să ne decidem încă să efectuăm acest salt, contrar întregii experienţe prezente a fizicii nucleare. Este posibil ca o serie de coincidenţe extraordinare să ne fi indus în eroare".

Această serie de coincidenţe extraordinare n-a avut loc, iar Lise Meitner şi Frisch au interpretat acest rezultat pe baza modelului nuclear al „picăturii lichide", propus de Niels Bohr. După captura unui neutron, nucleul de uraniu se separă în două fragmente uşoare iar aceste „fragmente de fisiune" (după termenul folosit de Meitner şi Frisch) sînt izotopii radioactivi ai elementelor mijlocii din tabelul periodic.

Se dovedea astfel că elementele „transuraniene" erau în majoritatea cazurilor produse de fisiune, iar misterioasa activitate de 3,5 ore, descoperită de Irène Curie şi Savitch, era dată de un amestec de lantan şi ytriu, radioactive. Publicarea articolului lui Hahn şi Strassman a suscitat o intensă activitate ştiinţifică şi, folosind două metode diferite, Frisch şi Joliot au adus simultan dovada fizică a existenţei fisiunii. Nu toţi izotopii naturali ai uraniului contribuie la fisiune şi Niels Bohr a arătat că izotopul puţin abundent, cu numărul atomic 235, al uraniului, era responsabil de fenomenele de fisiune a uraniului cu neutroni termici.

REACŢIILE DE FISIUNE ÎN LANŢ ŞI ENERGIA NUCLEARĂ. În momentul formării lor, fragmentele de fisiune au un exces considerabil de neutroni faţă de nucleele elementelor medii stabile. O parte dintre aceşti neutroni se transformă în protoni, în cursul unor emisii consecutive, dar mai mulţi fizicieni au presupus că trebuia să existe şi o emisie a unei părţi dintre neutronii excedenţi chiar în momentul fisiunii. Existenţa acestui fenomen a fost demonstrată independent de Fermi, Anderson şi Nanstein, Szilard şi Zinn, F. Joliot, Halban şi Kowarski şi s-a stabilit că numărul mediu de neutroni emişi pe fisiune variază de la 2 la 3,5.

Astfel, încă din 1939, se părea că s-a găsit o soluţie în problema eliberării energiei nucleare. Într-adevăr, fisiunea este însoţită de eliberarea unei cantităţi considerabile de energie: energia cinetică a fragmentelor de fisiune şi radioactivitatea β consecutivă, în timp ce emisia de neutroni secundari poate permite întreţinerea fisiunii într-o masă de uraniu. Se prevedeau totuşi mari dificultăţi practice, deoarece neutronii rapizi emişi în momentul fisiunii trebuie să fie înceţiniţi pentru a putea fi absorbiţi apoi de un nucleu de uraniu 235, cu un randament puţin mai mare decît unu.

Încercări importante au fost întreprinse în Franţa de Joliot, Halban, Kowarski şi F. Perrin. Folosind un ansamblu eterogen de oxid de uraniu în apă grea, ei au putut pune în evidenţă formarea şi menţinerea unei reacţii de fisiune în lanţ şi dovedi că este posibilă obţinerea şi controlarea unei reacţii în lanţ întreţinute cu cantităţi suficiente de uraniu şi de apă grea extrem de pură. Aceste concluzii au fost formulate în scris şi depuse în plicuri închise la Academia de Ştiinţe, obţinîndu-se, între 1 mai 1939 şi 1 mai 1940, şi cinci brevete prin intermediul Casei naţionale a ştiinţelor.

Înfrîngerea şi ocuparea Franţei aveau să întrerupă aceste cercetări, iar stocul de apă grea pe care Franţa tocmai îl cumpărase din Norvegia a fost evacuat în Anglia, unde Halban şi Kowarski au dovedit în mod definitiv posibilitatea practică a întreţinerii unei reacţii în lanţ.

În Statele Unite, Fermi, Szilard, Wigner şi Zinn au studiat la Universitatea Columbia şi apoi la Princeton o reţea formată din uraniu şi grafit. În cele din urmă, prima pilă atomică, construită la Chicago sub direcţia lui Fermi, avea să devină critică la 2 decembrie 1942.

Războiul şi ocuparea unei mari părţi a Europei au modificat radical spiritul şi dezvoltarea cercetărilor nucleare în lume. Schimburile ştiinţifice au fost întrerupte de război timp de mai mulţi ani, în special în domeniul fizicii nucleare, în care, încă din 1939, numeroşi fizicieni presimţeau colosala putere distructivă a energiei nucleare. Astfel, încă din 1940 cercetările din Statele Unite au început să se efectueze în cel mai mare secret, iniţial cu mijloace modeste, iar apoi din ce în ce mai mari.

Aceste mijloace aveau să crească prin eforturile tehnice şi ştiinţifice desfăşurate de Statele Unite după intrarea lor în conflictul mondial. Dezvoltarea extrem de rapidă a tehnicii, şi în special a electronicii, aveau să furnizeze mijloace din ce în ce mai puternice colectivelor americane de fizicieni, care erau întărite prin sosirea a numeroşi savanţi europeni. Rezultatele acestor eforturi aveau să rămînă secrete pînă la sfîrşitul ostilităţilor.

Astfel, interesul acordat eliberării energiei atomice nu avea să fie cunoscut lumii întregi decît în 1945, în momentul folosirii primelor două bombe atomice asupra oraşelor Hiroshima şi Nagasaki. Impresia făcută de efectele devastatoare ale acestor noi arme avea să atragă atenţia lumii întregi asupra importanţei progreselor realizate în numai cîţiva ani, dar a trebuit să se aştepte anul 1948 pentru ca adevăratele rezultate ştiinţifice să fie prezentate şi publicate. În perioada 1940—1948, cercetările au fost continuate şi în alte ţări, fiind însoţite de publicarea unor rezultate. Astfel, în anumite domenii importante ale fizicii nucleare, orice dezvoltare ştiinţifică normală a fost imposibilă şi istoria acestei ştiinţe, în cursul perioadei respective, nu se poate baza pe nici o dată cronologică valabilă.

După marasmul anilor de război şi al emigrării unui mare număr de savanţi europeni în S.U.A., efortul ştiinţific al ţărilor europene avea să fie reluat, ele contribuind din nou la progresul ştiinţei. Această contribuţie internaţională, alături de interesul suscitat de fizica nucleară şi de noile mijloace puse la dispoziţia fizicienilor, ca acceleratoare de particule, electronică rapidă, noi detectoare, aveau să conducă la dezvoltare complexă şi impetuoasă a fizicii nucleare şi a aplicaţiilor ei practice.

Datorită îndeosebi lipsei de informaţii, este iluzoriu să încercăm să redăm cronologic ansamblul dezvoltării fizicii nucleare din 1940 pînă în epoca actuală şi considerăm că este preferabil să reluăm evoluţia ideilor şi şirul descoperirilor din fiecare dintre ramurile acestei ştiinţe, care formează la ora actuală edificiul complex al fizicii nucleare.

C. RADIOACTIVITATEA ŞI MODELELE NUCLEARE

DIFERITELE FORME DE RADIOACTIVITATE ŞI SISTEMATICA NUCLEELOR ATOMICE. Pînă la începutul anului 1934, nu se cunoşteau decît vreo 40 de radioizotopi naturali, care aparţineau în special elementelor chimice mai grele, de la taliu la uraniu. F. şi I. Joliot-Curie au descoperit primii trei radioizotopi artificiali în acelaşi an. În 1937, fuseseră deja descoperiţi 190, în 1941 se cunoşteau 370, în 1949 aproape 800, iar astăzi peste 1 000. Toate elementele chimice şi toată gama perioadelor de dezintegrare sînt reprezentate; anumite elemente nu sînt cunoscute decît prin izotopii lor radioactivi.

Pentru a produce aceşti noi izotopi radioactivi, după particulele α ale radioelementelor naturale şi după neutronii lenţi folosiţi de Fermi şi de colaboratorii săi, s-au folosit mult deuteronii acceleraţi. După război, reactorii nucleari au înlocuit foarte des acceleratoarele de particule în producerea acestor radioizotopi.

Eforturile pentru producerea acestor radioizotopi s-au făcut, pe de o parte din cauza aplicaţiilor unora dintre ei (sodiu-24, fosfor-32, fier-59, iod-131, descoperiţi înainte de război; carbon-14 şi mulţi alţii, descoperiţi după război), iar pe de alta, pentru a studia diferitele caracteristici ale radioactivităţii acestor nuclee — tipul şi schema dezintegrării. În afara radioactivităţii prin emisie α şi prin emisie β^- (cunoscute din radioactivitatea naturală) şi a radioactivităţii β^+ (pusă în evidenţă prin descoperirea radioactivităţii artificiale), s-a mai descoperit radioactivitatea prin captura unui electron orbital atomic, care conduce, ca şi emisia β^+, la transformarea unui nucleu de sarcină Z într-un nucleu de sarcină $Z-1$ (captura K, descoperită de Alvarez în 1937).

Pe de altă parte, anumite nuclee foarte grele se pot dezintegra prin fisiune spontană în absenţa oricărei acţiuni exterioare (descoperirea fisiunii spontane a uraniului de către Flerov şi Petrjack în 1940); anumite nuclee transuraniene, ca fermiul-256, par a nu se transforma decît prin fisiune (Seaborg şi colaboratorii). Unele nuclee radioactive se dezintegrează, de asemenea, prin emisia unui proton sau a unui neutron; astfel, în cazul radioactivităţii azotului-17 şi a bromului-87, emisia β^- este urmată de emisia unui neutron. S-a descoperit şi o transformare radioactivă în care compoziţia nucleului în protoni şi neutroni rămîne neschimbată: anumite nuclee pot rămîne un timp relativ lung într-o stare de excitare metastabilă, după care revin în starea fundamentală emiţînd o radiaţie γ sau, eventual, un electron de conversie internă. Acest fenomen, descoperit experimental la brom-80 de Kurceatov şi colaboratorii săi în 1935, a fost denumit izomerie; explicaţia sa teoretică se datoreşte lui Weizsäcker (1936).

Toate aceste tipuri de radioactivitate au fost studiate în amănunt; numărul de radiaţii emise este totdeauna proporţional cu numărul de nuclee radioactive prezente, ceea ce conduce la o descreştere exponenţială cu o perioadă caracteristică.

Pornind de la aceste rezultate, a fost posibilă realizarea unei sistematizări a nucleelor stabile şi radioactive; s-a obţinut o reprezentare a izotopilor luînd pe abscisă numărul de protoni Z şi pe ordonată numărul de masă A (egal cu numărul de nucleoni) sau, mai bine, ca Segré, luînd pe abscisă numărul de neutroni N. Se observă atunci că nucleele stabile sînt grupate în vecinătatea unei drepte $N = Z$, cu un exces de neutroni, în cazul nucleelor grele. Nucleele radioactive, instabile, se transformă în nuclee mai stabile. Cu cît un nucleu radioactiv este mai depărtat de regiunea de stabilitate, cu atît perioada sa de descreştere este, în medie, mai mică, iar energia eliberată în cursul transformării radioactive mai mare. Anumite numere de neutroni şi de protoni corespund unor configuraţii nucleare deosebit de stabile; aceste numere au fost denumite „numere magice" (Elsasser, 1934; M.G. Mayer, 1949).

Au fost făcute mari eforturi pentru determinarea experimentală şi teoretică a energiei de legătură a nucleelor.

Rezultatele experimentale au fost obţinute prin spectrometrie de masă precum şi prin scheme de dezintegrare şi prin reacţii nucleare. Energia totală de legătură a unui nucleu este definită ca energia necesară pentru a-l descompune în toţi nucleonii săi constituenţi. S-a observat astfel că energia de legătură medie pe nucleon (energia de legătură totală împărţită la A) este de aproape 8 MeV şi nu variază mult de la un nucleu la altul, afară de cazul elementelor foarte uşoare; nucleele medii sînt deci mai legate decît celelalte.

Aceste rezultate, împreună cu constatarea că nucleele sînt în general aproape sferice şi că volumul lor este aproximativ proporţional cu numărul de nucleoni, au condus pe fizicieni la folosirea unei imagini clasice prin asimilarea nucleului cu o picătură de lichid incompresibil de foarte mare densitate. Astfel că, încă din 1935, Weizsäcker a putut propune o primă formulă semiempirică pentru masele nucleelor; acest gen de formulă a fost foarte util ulterior în prevederea maselor şi energiilor de legătură necesare, între altele, la calculul energiei eliberate la fisiune.

Studiul schemelor de dezintegrare radioactivă, ca şi cel al reacţiilor nucleare, au permis acumularea în cursul ultimelor trei decenii a unui număr considerabil de cunoştinţe cantitative asupra nivelelor de energie ale nucleelor.

Ca şi atomii şi moleculele — dar cu energii mult mai mari — fiecare nucleu posedă un anumit număr de nivele discrete de energie, corespunzînd fiecare diferitelor mişcări interne. Aceste nivele sînt în general cu atît mai apropiate cu cît energia de excitare este mai mare. Un nucleu trece de la un nivel la altul, de energie mai mică, prin emisia unei radiaţii γ sau a unui electron de conversie internă. Pe lîngă energia sa, fiecare nivel mai poate fi definit printr-un anumit număr de caracteristici cuantice: momente unghiulare, paritate etc.

Progresele fizice şi cele tehnice au mers în acest timp mînă în mînă: metodele experimentale care permit determinarea acestor caracteristici prin studiul schemelor nivelelor nucleare s-au perfecţionat considerabil. S-au construit, în numeroase laboratoare, spectrometre magnetice, care permit determinarea spectrelor continue β, a spectrelor de linii α, a liniilor electronilor de conversie internă a radiaţiilor γ, cu o precizie în energie mai mare de 1/1000 (de exemplu, K. Siegbahn în Suedia). Măsurarea coeficienţilor de conversie internă ai tranziţiilor şi compararea lor cu calculele teoretice (Rose şi Sliv, printre alţii) au jucat un rol important. Apariţia tuburilor electronice fotomultiplicatoare a permis, după ultimul război mondial, un avînt extraordinar al tehnicii spectrometriei de scintilaţie.

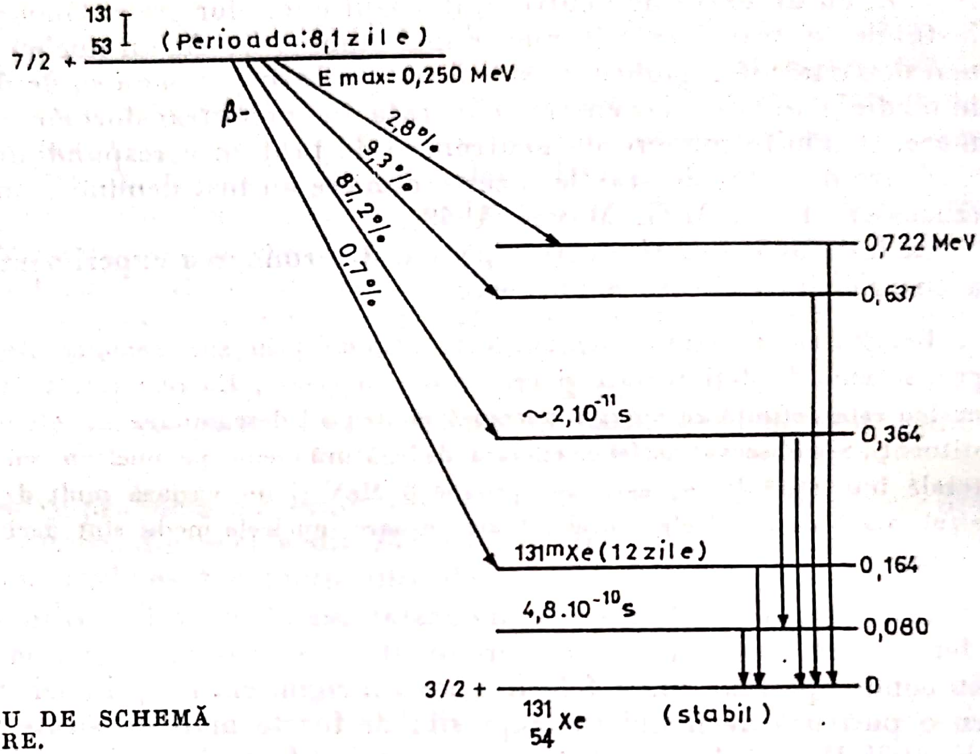


FIG. 12. EXEMPLU DE SCHEMĂ DE DEZINTEGRARE.

Această din urmă tehnică a înlocuit în numeroase cazuri contorii Geiger-Müller, ca şi vechea metodă de observare cu ochiul a scintilaţiilor datorate ciocnirii particulelor α de un ecran de sulfură de zinc. S-au construit scintilatori organici (Kallmann, 1947) şi scintilatori anorganici (monocristale de NaI(Tl), Hofstadter, 1948), cu proprietăţi foarte interesante; energia pierdută de radiaţie în scintilatori este transformată în parte în scintilaţii şi apoi într-un impuls electric la ieşirea fotomultiplicatorului; pentru prima dată a fost astfel posibilă detectarea radiaţiilor γ energice cu o eficacitate de 100%.

Ultimii ani au fost martorii apariţiei detectoarelor cu joncţiune şi a semiconductoarelor cu siliciu, care sînt un fel de camere de ionizare cu corp solid.

Electronica nucleară a progresat cu paşi uriaşi; se punea problema utilizării optime — adică cu pierdere minimă de informaţie — a impulsurilor electrice apărute la ieşirea aparatelor de detectare a diverselor radiaţii. Metoda coincidenţelor (Bothe, 1925—29; Rossi, 1930) permite astăzi măsurarea corelaţiilor unghiulare şi determinarea unor vieţi medii inferioare nanosecundei (10^{-9} s); metode deosebit de ingenioase permit chiar coborîrea acestei limite pînă la 10^{-11} s.

Studiul împrăştierii la rezonanţă a radiaţiilor γ (împrăştierea pe nuclee de acelaşi tip ca nucleele emiţătoare) a condus la o altă metodă de determinare a anumitor vieţi medii foarte scurte, prin intermediul măsurării lărgimii nivelelor (lărgimea unui nivel este invers proporţională cu viaţa sa medie). Deosebirea de o stare izomeră este astfel mai puţin netă; fiecare nivel nuclear are o anumită viaţă medie, care poate fi foarte scurtă sau foarte lungă, după cum tranziţia spre un nivel inferior corespunde unei variaţii mici sau mari a momentului unghiular (a spinului).

În 1958, Mössbauer a pus în evidenţă la Heidelberg emisia şi absorbţia radiaţiilor γ fără recul şi fără o lărgire apreciabilă a liniei naturale; efectul se observă la temperaturi joase şi provine din înglobarea nucleului emiţător sau absorbant într-o reţea cristalină; lărgimile extrem de mici (de exemplu lărgimi relative de 10^{-12}) ale liniilor γ astfel obţinute permit efectuarea unor studii de o mare importanţă[5].

PRIMELE MODELE NUCLEARE: MODELE ATOMICE, „PICĂTURA DE LICHID", MODELUL CU PARTICULE α. În primele modele nucleare s-a căutat să se transpună fără justificare modelul care obţinuse succese în cazul atomului, model în care electronii se mişcă aproape independent unii faţă de alţii în potenţialul electrostatic central creat de nucleu (şi care este mare faţă de interacţiile reciproce ale electronilor cînd Z este mare). Deoarece un astfel de potenţial predominant nu există într-un nucleu, el a fost înlocuit cu un potenţial mediu, determinat în principiu astfel încît să minimalizeze energiile calculate, ţinînd seama de interacţiile reziduale ale nucleonilor, doi cîte doi, conform metodei variaţionale a lui Ritz; aceasta este metoda lui Hartree-Fock, care a fost folosită în studiul mai riguros al problemelor atomului.

Într-o versiune simplificată a acestei metode, interacţiile reziduale sînt neglijate şi se consideră drept potenţial central mediu, o „groapă de potenţial" cu pereţi abrupţi, cu raza egală cu raza nucleară experimentală şi de o adîncime care să concorde cu energia de legătură corespunzătoare pe nucleon (8—10 MeV pentru nucleele medii). Acesta este un „model în pături" al nucleului. Ca şi în atom, nivelele individuale succesive, astfel obţinute, sînt umplute cu neutroni şi protoni conform principiului de excluziune al lui Pauli: cîte o singură particulă de fiecare tip într-o stare dată (ţinînd seama şi de starea de spin). Aceasta rezultă din faptul că neutronii şi protonii sînt fermioni cu spinul 1/2, ca şi electronii.

O versiune şi mai simplificată este cea a „gazului Fermi".

Se presupune că pereţii gropii de potenţial au o înălţime infinită, deci se presupune că nucleonii sînt liberi în interiorul unui volum ce nu poate fi părăsit. În starea fundamentală a nucleului, fiecare stare individuală este ocupată de doi neutroni cu proiecţiile spinului pe axa de cuantificare de asemenea opuse, pînă cînd se obţin numerele corespunzătoare de neutroni N şi de protoni Z (adesea, pentru simplificare, se consideră $N = Z = A/2$). Ultimii nucleoni se găsesc la „suprafaţa mării lui Fermi". În stările excitate ale nucleului, anumiţi nucleoni trec în stări individuale superioare, deasupra acestei suprafeţe.

---

[5] Vezi în legătură cu acest subiect studiul d-nei M. A. Tonnelat (pp. 181—182).

Acest model a fost folosit în special după 1932 la calculul densităţii nivelelor mari de energie şi în calculele de reacţii nucleare.

În 1934, Elsasser a observat stabilitatea excepţională a nucleelor cu 82 neutroni sau cu 126 protoni şi a încercat să interpreteze aceste numere „magice", considerînd că ele ar corespunde umplerii complete cu neutroni şi protoni a anumitor pături ale nucleului. El nu a putut totuşi găsi un model nuclear cu pături care să permită regăsirea acestor numere.

Pe de altă parte, obiecţiile împotriva acestor modele cu particule independente (sau cu stări individuale) se multiplicau. Cea mai importantă obiecţie a provenit din studiul reacţiilor nucleare provocate de neutronii „termici", a căror energie cinetică corespunde echilibrului termic cu mediul înconjurător.

Secţiunea efectivă de captură a acestor neutroni prezintă rezonanţe foarte înguste (de cîţiva eV) care implică o durată de viaţă relativ mare a nucleului „compus", format de nucleul iniţial şi de neutron (de peste un milion de ori mai mare decît durata traversării nucleului de acest neutron). Or, acest neutron, care are o energie de 8 MeV deasupra „mării Fermi", nu este legat de nucleu, deşi energia sa cinetică este neglijabilă. Durata capturării sale într-o groapă de potenţial va fi, în aceste condiţii, de acelaşi ordin de mărime ca şi durata traversării nucleului.

Această contradicţie stă la baza teoriei nucleului compus a lui N. Bohr, care admite un parcurs liber mijlociu al nucleonului în nucleu, mic faţă de raza nucleară: în acest caz, energia neutronului se distribuie rapid, prin ciocniri succesive între toţi nucleonii nucleului compus. Această ipoteză pare în contradicţie absolută cu modelul atomic.

În cazul acestuia din urmă, se presupune un parcurs liber mijlociu al nucleonilor mare faţă de raza nucleară sau, cu alte cuvinte, o comportare a materiei nucleare analoagă cu cea a unui gaz. Noua teorie a lui Bohr implică, dimpotrivă, o stare analoagă celei a unui lichid, ceea ce pare a se confirma prin valorile mari ale forţelor nucleare cu rază scurtă de acţiune, observate în cazul ciocnirilor nucleonilor liberi (proton-proton şi neutron-proton).

Modelul picăturii lichide, introdus de N. Bohr în 1936, a condus pe Weizsäcker la formula sa semiempirică pentru masele exacte ale nucleelor. Acest model permitea, de asemenea, prevederea stărilor excitate ale nucleelor corespunzătoare stărilor staţionare cuantificate ale mişcării picăturii lichide.

Se scriu mai întîi ecuaţiile hidrodinamicii clasice pentru micile mişcări irotaţionale ale unui fluid necompresibil. Energia potenţială rezultă din tensiunea superficială a picăturii, care se opune la deformarea sa. Energia cinetică are o expresie generală complicată, dar care se simplifică dacă se admit deformaţii care să fie funcţii de gradul întîi de coordonatele iniţiale (suprafaţa nucleară fiind atunci cea a unui elipsoid oscilant şi rotitor), apoi funcţii de gradul doi etc. Efectuînd cuantificarea prin metodele obişnuite, se obţin nivele echidistante pentru fiecare tip de deformare, corespunzător excitării unui fonon, a doi fononi etc. de fiecare tip. Parităţile şi, cu o anumită ambiguitate, momentele unghiulare ale acestor nivele, sînt astfel prevăzute (Weizsäcker, Flügge etc.).

Dar în acea vreme (1935—37) existau puţine informaţii asupra nivelelor nucleare pentru a putea confrunta aceste previziuni cu experienţa. Pe de altă parte, existenţa radioactivităţii a condus pe anumiţi teoreticieni să admită existenţa particulelor α „preformate" în nuclee.

S-a observat repede că în nucleele mijlocii energia de legătură pe nucleon (8—10 MeV) este superioară celei din particula α (7 MeV). Astfel, o particulă α nu poate fi stabilă într-un nucleu mediu. Dar ea poate fi stabilă într-un nucleu greu, în care această energie scade la 5 MeV, în medie (nucleele radioactive), sau într-un nucleu uşor în care energia de legătură este de acelaşi ordin de mărime. Anumite nuclee uşoare pot fi considerate ca un ansamblu de particule α: ${}^{8}_{4}\mathrm{Be}$ (2α, instabil); ${}^{12}_{6}\mathrm{C}(3\alpha)$; ${}^{16}_{8}\mathrm{O}(4\alpha)$ şi ${}^{20}_{10}\mathrm{Ne}(5\alpha)$. Wheeler (1937) a conceput un model analog celui al atomilor dintr-o moleculă, dispuşi ordonat unii în contact cu ceilalţi.

Aceste ansambluri se pot roti, ceea ce permite deducerea unor *nivele de rotaţie* ale acestor nuclee, ca şi la moleculă. În cazul unei excitaţii mai mari, particulele α pot oscila în jurul poziţiei lor de echilibru, ceea ce conduce la *nivelele de vibraţie*. Previziunile teoretice asupra momentelor unghiulare şi parităţilor, ca şi asupra poziţiei nivelelor (după ajustarea parametrilor) concordă suficient de bine cu datele experimentale. Domeniul de aplicare a acestui model este foarte restrîns. Totuşi Hafstad şi Teller (1938) l-au extins la nucleele uşoare ca ${}^{7}_{4}\mathrm{Be}$, ${}^{7}_{3}\mathrm{Li}$, ${}^{9}_{4}\mathrm{Be}$, considerate ca ansambluri de particule α, plus sau minus un nucleon.

NUMERELE „MAGICE" ŞI MODELUL ÎN PĂTURI CU INTERACŢIE SPIN-ORBITĂ. Numeroase date experimentale indică existenţa numerelor „magice". Nucleele care au acest număr de neutroni (N) sau de protoni (Z) sînt sau mai stabile, sau mai numeroase decît nucleele cu numerele N sau Z apropiate.

Astfel, studiul energiilor radiaţiilor α emise de substanţele radioactive naturale din vecinătatea izotopului ${}^{208}_{82}\mathrm{Pb}_{126}$ ($A = 208$; $Z = 82$; $N = 126$) a arătat, încă din anii premergători lui 1934, că cel de-al 82-lea proton are o energie de legătură mai mare decît al 80-lea, al 81-lea, al 83-lea sau al 84-lea. Aceeaşi afirmaţie este valabilă şi pentru neutronul al 126-lea faţă de al 124-lea sau al 128-lea (ea fiind deci independentă de faptul că ansamblurile cu numere impare de nucleoni sînt mai slab legate decît ansamblurile cu numere pare).

Pe de altă parte, izotopii (sau izotonii) sînt deosebit de numeroşi pentru Z (sau N) $= 20$ (de exemplu ${}^{40}_{20}\mathrm{Ca}_{20}$) şi 50 (ca izotopii staniului). Această afirmaţie este valabilă atît pentru abundenţele absolute, cît şi pentru abundenţele relative, iar dacă temperatura de formare a elementelor corespunde unei energii mici faţă de 1 MeV — ceea ce se întîmplă totdeauna în cazul stelelor — acest fapt se explică printr-o stabilitate mai mare pentru aceste nuclee.

Încercarea de explicare a lui Elsasser, printr-un model în pături, a eşuat totuşi; doar unele ipoteze neverosimile asupra potenţialului mediu ar fi putut permite explicarea numerelor magice 50, 82 şi 126. În acest model, nivelele individuale ale nucleonilor în potenţialul mediu sînt ocupate succesiv, începînd cu cel de energie minimă, conform principiului de excluziune al lui Pauli. Respingerea coulombiană dintre protoni explică faptul că aceste nivele se umplu mai rapid cu neutroni.

Dacă se neglijează spinul, aceste nivele ale unei particule într-un potenţial central sînt caracterizate prin următoarele numere cuantice: n, numărul cuantic radial ($n = 1, 2$ etc.); l, numărul cuantic al momentului orbital ($l = 0, 1, 2, \ldots$); m_l, numărul cuantic magnetic al momentului orbital (care pentru l dat, poate lua $2l + 1$ valori, de la $-l$ la $+l$, prin salturi întregi, $-l, -l + 1, \ldots, l - 1, l$).

Principiul de excluziune se aplică acestor stări ţinînd seama şi de cele două stări de spin posibile, caracterizate prin numărul cuantic magnetic de spin $m_s = \pm 1/2$; se poate plasa un singur nucleon de un tip dat (neutron sau proton) într-o stare caracterizată de ansamblul numerelor (n, l, m_l, m_s) (m_l este, în unităţi $\hbar$, proiecţia momentului cinetic orbital pe axa de cuantificate Oz; l corespunde lungimii acestui „vector“, iar m_s este proiecţia momentului cinetic propriu sau a spinului, a cărui lungime corespunde lui $s = 1/2$).

Dacă toate stările (nl) corespund aceleiaşi energii, se spune că există *degenerare* în m şi m_s.

Totuşi, dacă potenţialul mediu conţine un termen de *interacţie spin-orbită* între momentul orbital şi spinul particulei, m_l şi m_s nu mai pot fi consideraţi independenţi: cele două momente cinetice se compun după momentul unghiular total $j = l \pm 1/2$ (şi doar $l + 1/2$ în cazul $l = 0$). În cazul acesta, stările (nlj) corespund aceleiaşi energii: există degenerare numai asupra lui m, care poate lua $2j + 1$ valori, $-j, -j + 1, \ldots, j - 1, j$, care corespund proiecţiei momentului unghiular total.

Astfel, fiecare nivel de energie (nl) precedent este separat, în general, în două nivele distincte (nlj).

$$\underline{(ne)}\begin{cases}\underline{(n,\ l,\ j = l - 1/2)}\\[4pt]\underline{(n,\ l,\ j = l + 1/2)}\end{cases}$$

Degenerarea precedentă este astfel parţial ridicată.

Completînd acum nivelele (nlj), principiul de excluziune se aplică la ($nljm$) şi se obţin numerele „magice“ 2, 8, 20, 50, 82, 126, cu condiţia să se admită că ($n, l, j = l + 1/2$) se găseşte sub ($n, l, j = l - 1/2$), adică o ordine inversă faţă de cea întîlnită la nivelele electronice profunde ale atomului.

Succesul acestui model nu se limitează aici; el permite regăsirea momentului cinetic total şi a *parităţii*[6] stării fundamentale a nucleelor impare, şi adesea a primelor lor stări excitate. Se admite în acest caz că protonii, ca şi neutronii, pot fi asociaţi în perechi al căror moment cinetic rezultant este nul. Momentul cinetic J al nucleului este în acest caz cel al nucleonului impar, j, care se găseşte pe nivelul individual (nlj) cel mai ridicat, deci al unui nucleon „celibatar“. Şi paritatea nucleului corespunde acestui nivel (+ dacă l este par, — dacă l este impar). Pentru stările excitate, se admite că acestea corespund fie trecerii acestui nucleon celibatar pe un nivel individual mai ridicat, fie trecerii unui nucleon mai profund de pe nivelul ($n'l'j'$) pe nivelul (nlj).

Acest nou nucleon formează o pereche de moment cinetic nul cu precedentul, iar golul lăsat pe nivelul ($n'l'j'$) conduce la apariţia unui moment cinetic $J' = j'$ pentru starea excitată şi a unei parităţi corespunzătoare lui l'. Acest model şi aceste reguli au fost propuse de Maria Goppert-Mayer (Chicago), pe de o parte, şi de Haxel, Jensen şi Suess (Heidelberg), pe de alta, în 1950.

---

[6] Paritatea se notează cu semnul + sau —, ceea ce indică faptul că funcţia de undă se multiplică cu +1 sau —1 cînd se efectuează o operaţie de simetrie faţă de originea coordonatelor, pentru un sistem invariant la această operaţie de simetrie.

În cazul stărilor fundamentale, nu se întîlnesc decît două excepţii, pentru care $J = j - 1$. În schimb, un mare număr de stări excitate nu pot fi explicate astfel. În acest caz, trebuie să se ţină seama de interacţiile reziduale dintre nucleoni, care conduc de fapt la stări mai complexe decît cele prevăzute de modelul cu nucleon celibatar. Cuplajele momentelor cinetice j individuale pot fi mai complicate decît cele prevăzute de acest model.

Pe de altă parte, interacţiile estompează structura în pături, conducînd la *amestecuri de configuraţii*; în acest caz, o stare nucleară trebuie să fie reprezentată printr-o sumă ponderată a funcţiilor de undă corespunzătoare diferitelor ocupări ale nivelelor individuale.

Aceste considerente şi calcule sînt, de asemenea, necesare la prevederea stărilor nucleelor cu N şi Z impare, dar în acest caz calculele nu pot fi efectuate decît pentru nucleele uşoare.

MODELUL „UNIFICAT" AL LUI BOHR-MOTTELSON. Toate aceste subtilităţi ale modelului în pături n-au putut explica forma elipsoidală a distribuţiei sarcinii în cazul nucleelor pentru care N şi Z sînt foarte diferite de numerele magice. Pentru a interpreta această formă, care se traduce prin momente cuadrupolare ridicate, Aage Bohr şi B.R. Mottelson au revenit parţial în 1952 la modelul picăturii lichide.

Ei iau în considerare nişte extra-nucleoni aflaţi pe nivele individuale, într-un potenţial nesferic, şi un „miez", ale cărui mişcări sînt descrise de variabile colective ca cele ale unei picături lichide. Potenţialul mediu urmează deformaţiile miezului, cuplînd mişcarea acestuia cu cea a extra-nucleonilor. Dacă cuplajul este slab, se regăsesc nivelele colective ale modelului picăturii cu un fonon, 2 fononi etc., adică nivelele de vibraţie ale unui nucleu sferic, identificate pentru majoritatea nucleelor par-pare.

Dacă cuplajul este puternic, pe lîngă deformaţiile de ordinul întîi, se găseşte şi un potenţial elipsoidal cu rotaţie lentă. Apar în acest caz *nivele colective de rotaţie*, identificate pentru multe nuclee depărtate de numerele magice, precum şi nivele individuale, într-un potenţial elipsoidal. Rotaţia este de fapt o pseudo-rotaţie, un fel de mişcare de maree, în cursul căreia suprafaţa elipsoidală se roteşte, iar momentul de inerţie corespunzător depinde de deformare (se anulează odată cu ea), — deformare care, la rîndul ei, rezultă din forţa de cuplaj a miezului cu extra-nucleonii — şi de constanta sa de „deformabilitate". Trebuie admis faptul că miezul este nedeformabil cînd este format din pături saturate (numere magice).

Modelul lui Bohr-Mottelson a primit o bună confirmare experimentală în domeniile cu cuplaj slab (nivele de vibraţie N şi Z pare), pentru $66 \leqslant A \leqslant 144$ şi în domeniile cu cuplaj puternic (nivele de rotaţie), pentru $140 < A < 185$ (pămînturi rare) şi pentru $A > 225$ (transuraniene). În cazul nivelelor de rotaţie, experienţa indică totuşi valori ale momentului de inerţie mult mai mari decît cele indicate de teorie (adesea de ordinul celor care ar rezulta din rotaţia nucleului ca solid).

Modelele nucleare au oscilat deci adesea între modelele cu particule independente, în care interacţiile dintre nucleonii din nucleu sînt presupuse slabe (pături) şi între modelele cu interacţie puternică (picătură lichidă). Această afirmaţie este adevărată şi pentru reacţiile nucleare care implică energii de excitare mai ridicate; astfel, modelul nucleului compus, cu interacţii puternice, a urmat după cel al gropii de potenţial. În cele din urmă, unele modele hidride au furnizat o sinteză care nu este însă complet coerentă: astfel sînt modelul lui Bohr-Mottelson pentru primele nivele şi modelul optic pentru reacţiile nucleare.

În mare, se pare totuşi că realitatea este mai apropiată de modelul particulelor independente: tipurile mai apropiate de modelul în pături conduc la valori mai bune ale momentelor de inerţie nucleare. Este astfel necesar să explicăm motivul pentru care obiecţiile iniţiale împotriva acestui model nu se menţin: interacţiile dintre nucleonii din nucleu par mai slabe decît între nucleonii liberi. Teoria lui Brueckner şi a colaboratorilor săi (1955—58) a fost elaborată pentru a explica proprietăţile „materiei nucleare“, pornind de la proprietăţile esenţiale cunoscute ale interacţiilor dintre nucleonii liberi. O altă teorie, inspirată după cea a conductibilităţii, a fost elaborată prin 1958—59; ea acordă un rol important perechilor de nucleoni, al căror moment cinetic rezultant este nul. Scopul ei era mai ales de a justifica unele modele care se impuseseră într-un mod empiric.

Într-adevăr, acest model cu „corelaţii de perechi“, care foloseşte metoda matematică a teoriei cuantice a cîmpurilor şi „transformarea Bogoliubov“, a permis efectuarea unor calcule practice asupra nivelelor nucleelor medii şi grele, care nu puteau fi abordate prin metodele perturbaţionale. Ea constituie preocuparea în special a colectivului lui A. Bohr şi Mottelson de la Copenhaga.

D. REACŢIILE NUCLEARE

PRIMELE ACCELERATOARE DE PARTICULE. Descoperirea primelor transmutaţii nucleare în 1919, a neutronului în 1932, şi a radioactivităţii artificiale în 1934 au avut loc prin folosirea ca proiectile a particulelor α provenind din surse naturale.

Încă de la primele cercetări experimentale şi teoretice asupra transmutaţiilor, s-a dovedit interesantă accelerarea artificială a particulelor încărcate cu ajutorul tensiunilor înalte.

1. În acest fel, ar fi fost posibilă folosirea şi a altor proiectile decît particulele α, şi în special a protonilor, care sînt particule mai simple.
2. Intensităţile particulelor astfel obţinute[7] ar fi devenit rapid cu mult mai mari decît cele furnizate de sursele naturale cele mai puternice din acea vreme.
3. Se putea spera în posibilitatea obţinerii unor energii mai mari decît cele ale radiaţiilor α naturale, datorită perfecţionării acceleratoarelor.

În cîţiva ani, rezultatele acestor obiective au depăşit orice aşteptări. Eforturile au fost efectuate simultan în numeroase laboratoare. În 1932, J.D. Cockroft şi E.T.S. Walton, în Marea Britanie, au reuşit să realizeze pentru prima dată transmutaţii nucleare cu protoni acceleraţi la 700 000 eV.

---

[7] Aceste intensităţi se măsoară curent în microamperi: $1 \mu A = 6 \cdot 10^{12}$ sarcini elementare pe secundă. Astfel, $0{,}012 \mu A$ de particule α corespund numărului de radiaţii α emise de 1 curie (1g) de radiu; dar, în acest caz, particulele sînt emise în toate direcţiile, ceea ce este mai puţin favorabil decît în cazul fasciculului unui accelerator.

Ei au studiat, printre altele, reacţia nucleară $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He$; cele două particule α sînt emise în direcţii opuse şi sînt detectate pe ecrane cu sulfură de zinc de detectoare care lucrează în coincidenţă. Generatorul Cockroft-Walton este format dintr-o serie de condensatoare şi de tuburi redresoare, care permit multiplicarea tensiunii ce apare la ieşirea unui transformator.

În 1928-30, Lauritsen, în Statele Unite, a obţinut o tensiune foarte înaltă prin intermediul unei serii de transformatoare montate în cascadă. În 1931-32, Van de Graaff a realizat un accelerator electrostatic care permite încărcarea unei sfere metalice goale cu ajutorul unei benzi în mişcare. Acest tip de generator este încă intens utilizat.

Adevărata revoluţie din acest domeniu a fost adusă însă de instalaţiile de accelerare periodică, în care aceeaşi tensiune de înaltă frecvenţă este aplicată de un mare număr de ori pentru a accelera un fascicul de particule prin mici aporturi succesive de energie. E.O. Lawrence şi M.S. Livingston, de la Universitatea din California (S.U.A.), au realizat, în 1932, pe acest principiu primul ciclotron care furniza protoni de 1,2 milioane eV.

În ciclotron, particulele descriu o traiectorie în spirală pornind din centru, într-un cîmp magnetic; tensiunea acceleratoare se aplică între doi electrozi goi în interior (vezi fig. 13); unei particule îi trebuie întotdeauna acelaşi timp pentru a efectua un tur complet în ciclotron, oricare ar fi raza traiectoriei sale.

Ciclotronul a devenit de atunci una dintre instalaţiile cele mai familiare din fizica nucleară. I-au fost aduse diverse modificări şi perfecţionări importante şi ciclotroanele se găsesc astăzi în numeroase laboratoare.

Tot în aceeaşi perioadă (1929-34) au fost construite şi primele acceleratoare liniare de către Wideröe, D.H. Sloan şi alţii.

Instalaţia lui Wideröe a fost de fapt prima în care s-a folosit principiul accelerării multiple cu o aceeaşi tensiune periodică. Această tensiune de înaltă frecvenţă se aplică la o serie de cilindri plasaţi în linie dreaptă, care sînt traversaţi de particule (fig. 14).

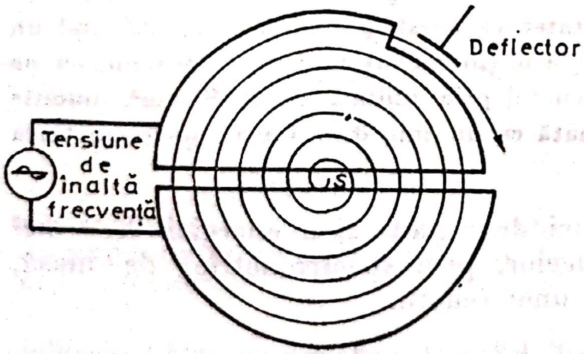


FIG. 13. SCHEMA UNUI CICLOTRON.
Particulele accelerate între cei doi electrozi (duanţi) urmează o traiectorie în spirală şi pot fi extrase cu ajutorul unui electrod de deviere (deflector). *S* este sursa de ioni.

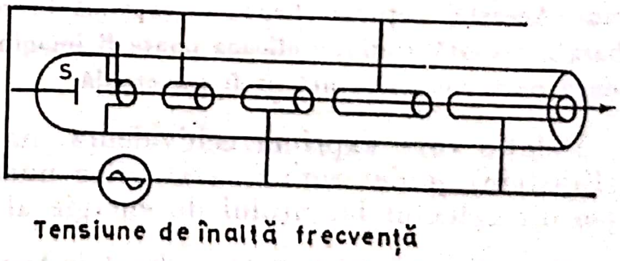


FIG. 14. SCHEMA UNUI ACCELERATOR LINIAR.
Tensiunea de înaltă frecvenţă se aplică între cilindrii succesivi. Lungimea acestor cilindri creşte cu viteza particulelor.

Primele acceleratoare liniare nu puteau furniza ionilor grei (K^+, Li^+, Hg^{++}) decît energii relativ mici şi nu au avut iniţial decît aplicaţii foarte limitate.

Descoperirea deuteriului (izotopul greu al hidrogenului), al cărui nucleu (deuteronul) este compus dintr-un proton şi un neutron, de către H. Urey şi colaboratorii săi, în 1932, a condus foarte curînd la utilizarea sa ca proiectil în acceleratoare. Deuteronul s-a dovedit o particulă deosebit de eficace în provocarea transmutaţiilor, datorită slabei sale energii de legătură.

După descoperirea neutronului şi după cercetările lui Fermi, s-a încercat realizarea unor surse artificiale de neutroni monocinetici, prin folosirea diverselor reacţii nucleare.

Astfel, s-a folosit iniţial reacţia $d + d \rightarrow n + {}^{3}_{2}\mathrm{He}$, iar după război, cînd s-au putut fabrica ţinte de tritiu, s-a folosit reacţia $d + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow n + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

A apărut şi preocuparea pentru accelerarea electronilor, mai ales pentru producerea — prin frînare într-o ţintă — a unor radiaţii γ de mare intensitate, şi pentru studierea acţiunii acestor radiaţii asupra nucleelor.

Prin urmare, după 1930-32 au fost puse la punct mijloacele necesare studiului amănunţit al reacţiilor nucleare. Aceste mijloace s-au perfecţionat de atunci fără încetare.

ASPECTE GENERALE ALE REACŢIILOR NUCLEARE. Radioactivitatea şi reacţiile nucleare reprezintă principalele două tipuri de procese care permit explorarea structurii nucleului, deducerea diverselor lui caracteristici, cunoaşterea mişcărilor interne şi abordarea naturii forţelor nucleare. Reacţiile nuclare permit în principiu o analiză mai aprofundată, deoarece, spre deosebire de radioactivitate, ele permit experimentatorului să varieze anumiţi parametri.

Eficacitatea unei reacţii sau a unei împrăştieri sau, mai precis, probabilitatea lor, este dată de secţiunea eficace.

Această noţiune a fost adoptată din teoria cinetică a gazelor. Secţiunea eficace a unui proces este definită, în cm^2, ca probabilitatea ca acest proces să aibă loc cînd un fascicul format dintr-un singur proiectil ciocneşte o ţintă conţinînd un singur nucleu pe cm^2. Această secţiune eficace se exprimă în general prin unităţi de 10^{-24} cm^2, numite barni. Această secţiune eficace poate fi imaginată ca un mic disc ataşat nucleului ţintă dacă particula incidentă ar fi punctuală.

Relaţia care exprimă echivalenţa masei de repaus şi a energiei $E = mc^2$ (Einstein) şi determinarea maselor nucleelor, prin spectrometrie de masă, permit calculul bilanţului de energie al unei reacţii.

O reacţie nucleară se poate scrie: $a + X \rightarrow Y + b + Q$, unde a reprezintă proiectilul, X — nucleul ţintă, Y — nucleul rezultant şi b — particula secundară emisă în cursul reacţiei. Q reprezintă surplusul de energie. Dacă Q este pozitiv, este vorba de o energie eliberată în cursul reacţiei; dimpotrivă, dacă Q este negativ, este necesar ca particula incidentă a să aibă o anumită energie minimă pentru ca reacţia să poată avea loc (existenţa unui prag al reacţiei).

Relaţia lui Einstein $E = mc^2$ a fost verificată experimental prin măsurarea bilanţurilor de energie ale reacţiilor nucleare.

Cînd o particulă-proiectil ciocneşte un nucleu-ţintă, se produc în general diverse fenomene care sînt în competiţie:

În primul rînd, împrăştierea elastică simplă; pentru o particulă încărcată, trebuie deosebită împrăştierea elastică datorată cîmpului coulombian (electric) al nucleului, numită împrăştiere Rutherford, de împrăştierea elastică datorată acţiunii forţelor nucleare, numită împrăştiere anormală; există apoi împrăştierea neelastică, în care particula incidentă pierde o parte din energia sa, precum şi diferitele tipuri de reacţii nucleare însoţite de emisia uneia sau mai multor particule secundare. Studiul amănunţit al unei împrăştieri sau al unei reacţii anumite necesită nu numai măsurarea secţiunii sale eficace, ci şi a secţiunii sale eficace diferenţiale (în funcţie de unghiul de emisie, în raport cu direcţia incidentă, al particulei secundare sau al particulei împrăştiate).

Încă de la început au existat preocupări pentru crearea metodelor generale de analiză teoretică a împrăştierii şi a reacţiilor nucleare. În 1926, Max Born elaborează teoria ciocnirilor şi introduce o aproximaţie foarte folositoare, cunoscută sub denumirea de „aproximaţia Born"; lui Faxen şi Holtsmark li se datorează descompunerea undelor plane în unde sferice de diferite momente cinetice (1927). Pe baza acestora, s-a dezvoltat metoda defazajelor şi noţiunea de matrice de ciocnire, introdusă de Wheeler, în 1937.

Între timp, primele experienţe asupra reacţiilor nucleare aduceau un mare număr de informaţii noi asupra caracteristicilor acestora.

DIVERSE TIPURI DE REACŢII NUCLEARE. Reacţiile cele mai simple corespund emisiei unei singure particule secundare; la început, ele erau dealtminteri singurele reacţii care puteau fi studiate, datorită micilor energii disponibile.

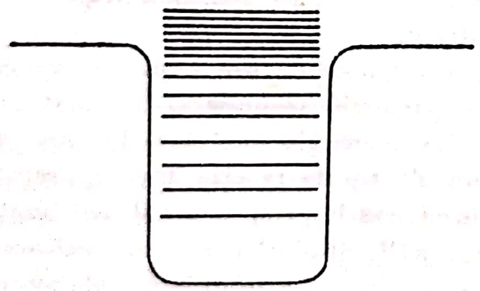


FIG. 15. GROAPA DE POTENŢIAL PENTRU UN NEUTRON ŞI NIVELELE DE ENERGIE ALE NUCLEULUI

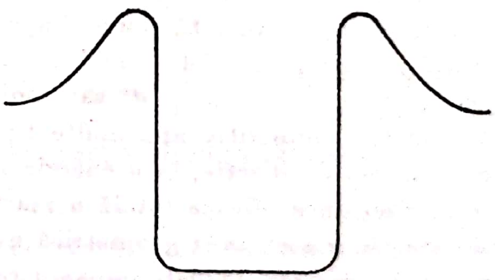


FIG. 16. GROAPA ŞI BARIERA DE POTENŢIAL PENTRU UN PROTON

Experimentatorii şi teoreticienii a trebuit să introducă încă de la început o distincţie între proiectilele neutre (neutroni) şi proiectilele încărcate (protoni, deuteroni, particule α): neutronii nu întîmpină nici o dificultate la pătrunderea în nucleu, deoarece nu sînt supuşi decît unor forţe nucleare de atracţie; dimpotrivă, particulele încărcate, pentru a pătrunde în nucleu, trebuie să învingă o barieră de potenţial datorită forţelor coulombiene de respingere.

Această barieră de potenţial este cu atît mai înaltă cu cît nucleul este mai greu; aceeaşi barieră apare dealtfel şi în cazul ieşirii unei particule încărcate din nucleu. Această problemă a fost studiată teoretic în special de către Gamow. Dacă particulele încărcate sînt suficient de energice, ele pot trece pe deasupra barierei; dacă au o energie mai mică, particulele au totuşi o anumită probabilitate de a traversa această barieră (transparenţa barierei).

Reacţiile provocate de neutroni au fost studiate în special de Fermi şi colaboratorii săi, care au descoperit eficacitatea deosebit de mare a neutronilor lenţi, a căror secţiune eficace este proporţională cu $1/v$ (v, viteza neutronului incident). Neutronii cu energie mică pot fi capturaţi de nucleul-ţintă în cazul unei reacţii (n, γ). Această captură este deosebit de importantă pentru anumite energii bine definite ale neutronului incident: în acest caz este vorba de rezonanţe (primele cazuri au fost observate în reacţiile (α, p); neutronul furnizează nucleului mai mulţi MeV de energie de legătură, iar rezonanţele corespund unor nivele relativ ridicate ale nucleului final, care se dezexcită apoi prin emisie γ.

Aceste rezonanţe au fost studiate experimental de Moon şi Tillman, de Alvarez şi de mulţi alţi cercetători.

Alte reacţii nucleare importante, provocate de neutroni, sînt de tipul (n, p), (n, α) — la energii mici şi doar cu nuclee uşoare — şi de tipul $(n, 2n)$, dacă neutronul are o energie suficient de mare.

Cu particule încărcate se obţin reacţii de tipul (p, α), (α, n); se obţin şi reacţii de tipul (p, α) şi (α, p), dar în proporţii infime în cazul unor energii mici şi al unor nuclee grele.

Deuteronii provoacă reacţii interesante de tipul (d, p) şi (d, n). Oppenheimer şi Phillips au explicat în 1935 mecanismul reacţiei (d, p) în modul următor: cînd deuteronul se apropie de nucleu, protonul este respins de cîmpul coulombian, iar deuteronul — a cărui energie de legătură este foarte mică — se descompune în cei doi constituenţi: neutronul, care pătrunde singur în nucleu, şi protonul, care este deviat şi îşi continuă traiectoria. Reacţiile (d, n) reprezintă surse importante de neutroni.

Cînd energia particulelor incidente este mai mare, devin posibile din punct de vedere energetic alte reacţii ca (p, d) sau emisia mai multor particule secundare. În acest caz, pot avea loc competitiv mai multe tipuri de reacţii. La o energie dată, are loc preponderent un tip de reacţie; la o energie mai ridicată, un alt tip de reacţie devine preponderent. Secţiunea eficace totală a reacţiei tinde în mod continuu spre o valoare limită, care este chiar secţiunea geometrică a nucleului-ţintă, πR^2. Studiul reacţiilor nucleare a furnizat şi precizări în determinarea razei nucleului şi a anumitor proprietăţi ale suprafeţei sale. Se poate deosebi raza sarcinilor electrice ale nucleului şi raza corespunzătoare acţiunii forţelor nucleare. În general, se consideră că $R = rA^{1/3}$(A, numărul de nucleoni ai nucleului), unde $r = 1{,}2 \cdot 10^{-13}$ cm.

MODELE DE REACŢII NUCLEARE. Pentru a explica reacţiile nucleare, au fost elaborate în ultimii 25 ani diferite modele. Aceste modele reuşesc să explice corect o parte a unei realităţi destul de complicate; ele sînt în general valabile într-un anumit domeniu de energii şi pentru anumite tipuri de reacţii. Procesele reale corespund fără îndoială ansamblului de caracteristici prevăzute de aceste modele. Doar cunoaşterea exactă a forţelor nucleare şi a proprietăţilor materiei nucleare va permite calculul precis al diferitelor reacţii nucleare, cu condiţia să ştim să rezolvăm matematic problema.

În 1936, Niels Bohr, Breit şi Wigner, ca şi Frenkel şi, mai tîrziu, Weisskopf, au elaborat modelul nucleului compus, care permite interpretarea unui mare număr de reacţii nucleare.

Nucleul compus se formează atunci cînd particula incidentă ajunge la distanţa de nucleu la care acţionează forţele nucleare. Se consideră că atunci secţiunea eficace a unei reacţii date, $a + X \rightarrow Y + b$, este produsul dintre secţiunea eficace de formare a nucleului compus şi probabilitatea ca acest nucleu să se dezintegreze în $Y + b$. Aceste două etape sînt distincte una faţă de cealaltă, deoarece dezintegrarea nu depinde de modul de formare; cu alte cuvinte, între timp nucleul compus a „uitat" etapa precedentă.

Această ipoteză se explică astfel. La energiile la care acest model se aplică, parcursul liber mijlociu al particulei incidente este mic faţă de dimensiunile nucleului; particula a suferă un mare număr de ciocniri, energia sa se distribuie rapid între toţi nucleonii nucleului şi particula îşi pierde individualitatea; apoi trece un timp de ordinul 10^{-16} s, relativ lung faţă de perioadele de mişcare în nucleu, pînă cînd pe particula b se va concentra o energie suficientă pentru ca aceasta să poată să iasă din nucleu. În reacţia ${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{1}H$, de exemplu, se formează un nucleu compus ${}^{20}_{10}Ne$, care se poate dezintegra fie prin emisia unui neutron (rămînînd nucleul ${}^{19}_{10}H$), fie prin emisia unei particule α (rămînînd nucleul ${}^{16}_{8}O$).

Studiul rezonanţelor a constituit un factor important în dezvoltarea teoriei nucleului compus.

Rezonanţa corespunde unui nivel de energie de excitare a nucleului compus; acesta din urmă se poate dezintegra în general în mai multe moduri, energetic posibile (canale deschise); aceste canale sînt în competiţie unele cu altele, fiind afectate fiecare de o anumită probabilitate. Formula lui Breit şi Wigner a permis interpretarea rezonanţelor înguste observate în reacţiile (n, γ) la energii joase. La energii mai înalte, nivelele nucleului compus sînt mai apropiate şi se întrepătrund, deoarece separarea lor este mai mică decît lărgimea lor. În acest caz, nu mai apar rezonanţe, dar se poate folosi noţiunea de temperatură nucleară, care reprezintă energia de excitare a nucleului: nucleul evaporă nucleoni după cum o picătură de lichid încălzită evaporă molecule; pe măsură ce evaporarea evoluează, temperatura nucleului scade.

La energii mai înalte (şi uneori chiar între rezonanţe) nu mai este valabilă noţiunea de etapă intermediară a nucleului compus, caracterizează prin distribuţia energiei incidente între toţi nucleonii.

Dacă durata traversării nucleului de către nucleonul incident este relativ lungă faţă de durata rearanjării din nucleul-ţintă, acţiunea acestui nucleu se poate descrie printr-un potenţial mediu, folosindu-se în acest caz modelul optic introdus de Feshbach, Porter şi Weisskopf în 1954. Conform acestui model, nucleul este analog unei sfere de cristal transparente; analog unei radiaţii luminoase, particula incidentă poate fi sau refractată în sfera de cristal, sau absorbită. Aceasta se reduce la a admite că sfera de cristal are un indice de refracţie complex. Acest indice corespunde unui potenţial nuclear complex, a cărui componentă reală ţine seama de refracţie, adică de împrăştierea elastică, în timp ce componenta imaginară a potenţialului ţine seamă de absorbţie, adică de ansamblul reacţiilor nucleare posibile.

În anumite tipuri de reacţie, cum sînt cele de *stripping* (d, p) şi (d, n) şi cele inverse de *pick-up* (p, d) şi (n, d), interacţia are loc în special în imediata apropiere a suprafeţei nucleului. Folosind metoda perturbaţiilor, Butler (1951) a elaborat teoria reacţiilor de stripping (la o energie de aproximativ 10 MeV); în acest caz, doar unul dintre nucleonii deuteronului pătrund în nucleu, aducînd cu el un anumit moment cinetic, în timp ce celălalt nucleon îşi continuă drumul furnizînd o distribuţie unghiulară caracteristică.

În opoziţie cu modelul nucleului compus, modelele de tipul celui al sferei de cristal sau al teoriei lui Butler, sînt cunoscute sub denumirea de modele de interacţie directă.

Reacţiile nucleare la energii înalte sînt, în prima lor fază, şi procese de interacţie directă.

La energii înalte, parcursul liber mijlociu al nucleonilor devine mai mare decît raza nucleului, iar acesta este parţial transparent pentru nucleonii respectivi. Secţiunea eficace totală a reacţiei devine în acest caz mai mică decît secţiunea geometrică a nucleului, dar încetează să scadă la energii foarte mari, datorită producerii mezonilor. Mecanismul reacţiilor la energii înalte a fost explicat de Serber în 1947.

În acest domeniu (la energii de 100 MeV şi mai mari), particula incidentă traversează nucleul sau interacţionează cu unul dintre nucleonii săi într-un timp foarte scurt (de ordinul a 10^{-22} s); în acest caz, nucleul poate fi considerat ca un ansamblu de nucleoni liberi, iar interacţia are loc doar între 2 sau 3 nucleoni. Astfel că reacţia la energii înalte are loc în două etape: în prima, care este foarte rapidă, procesul de interacţie directă conduce prin cîteva ciocniri succesive în cascadă la emiterea cîtorva nucleoni; la sfîrşitul acestei prime etape, nucleul rămas se poate găsi într-o anumită stare de excitare ca un nucleu compus; în cea de-a doua etapă, care este mult mai lungă (aproximativ 10^{-16} s), acest nucleu compus se dezexcită, evaporînd cîţiva nucleoni. Reacţia poate deci continua într-un mare număr de canale diferite. Ansamblul acestor diferite reacţii competitive, care corespunde în general emiterii unui mare număr de nucleoni, a fost denumit reacţie de *spalaţie*.

CÎTEVA TIPURI SPECIALE DE REACŢII NUCLEARE. În reacţiile care conduc la fisiune, particula incidentă aduce nucleului suficientă energie pentru ca acesta — în urma unor mişcări de vibraţie — să se găsească într-o stare deformată (nesferică) instabilă; forţele coulombiene de respingere între protoni depăşesc în acest caz forţele nucleare de atracţie, iar nucleul se rupe în două fragmente ce se depărtează cu mare viteză unul de altul. Această explicaţie a fisiunii, pe baza modelului picăturii lichide, a fost dată de N. Bohr şi Wheeler în 1939. Aceste reacţii, care eliberează o mare cantitate de energie, stau la baza funcţionării reactorilor nucleari şi a bombelor atomice.

În reacţiile fotonucleare şi electronucleare (provocate cu ajutorul radiaţiilor γ sau al electronilor), reacţia începe prin interacţia electromagnetică cu protonii din nucleul-ţintă ceea ce conduce la emiterea unuia sau mai multor nucleoni. S-au observat maxime foarte importante în variaţia secţiunilor eficace în funcţie de energie în jur de 20 MeV, indiferent de nucleul-ţintă; aceste maxime au fost denumite „rezonanţe uriaşe".

În cazul excitării coulombiene — prevăzută şi calculată de Weisskopf şi Ter-Martirosyan, şi observată pentru prima dată de Huus şi Zupancic — un nucleon ce trece prin apropierea unui nucleu, la o distanţă mai mare decît cea a acţiunii forţelor nucleare, excită acest nucleu prin interacţie electromagnetică. Este favorizată în acest caz excitarea nivelelor colective.

Eforturi importante au fost consacrate recent şi reacţiilor provocate de ionii grei (de exemplu ionii de carbon şi ionii de oxigen multiplu încărcaţi), studiate teoretic de Breit şi alţii. În aceste reacţii pot avea loc transferuri de nucleoni între nucleul-proiectil şi nucleul-ţintă; de asemenea, se pot forma nuclee compuse, puternic excitate, cu momente cinetice mari. Sînt posibile şi alte procese, ca de exemplu formarea unor stări „cvasimoleculare" ($^{12}C + ^{12}C$).

Reacţiile nucleare ale nucleelor foarte uşoare (de tip $p + d$, $d + d$, $p + t$ etc.) au fost studiate în mod deosebit. Pe de o parte, în aceste reacţii nu intră în joc decît un mic număr de nucleoni şi sînt deci mai uşor de interpretat; ele pot, de exemplu, furniza informaţii asupra eventualei existenţe a forţelor, în cazul a trei corpuri. Pe de altă parte, aceste reacţii sînt, în majoritatea cazurilor, reacţii termonucleare (de fuziune), care eliberează o mare cantitate de energie; ele par să joace un mare rol în Soare şi în stele şi au o mare importanţă practică în perspectiva eliberării controlate a energiei termonucleare.

În cursul ultimilor ani, experienţele asupra diferitelor reacţii nucleare au cîştigat mult în precizie. De la măsurarea secţiunilor eficace prin diverse metode radiochimice, s-a ajuns la studiul distribuţiilor unghiulare (secţiuni eficace diferenţiale) cu ajutorul diferitelor tipuri de detectori, şi în special telescoape, scintilatoare şi analizoare magnetice. Determinarea polarizării particulelor emise, adică a orientării medii a spinului lor (momentul cinetic intrinsec), a permis analizarea în amănunt a anumitor reacţii.

DEZVOLTAREA MARILOR ACCELERATOARE. Creşterea dimensiunilor ciclotroanelor clasice este limitată de creşterea masei particulelor accelerate cu viteza, conform legilor relativităţii. Pentru proton, limita se situează la aproximativ 15 MeV; era prin urmare necesar să se găsească un nou principiu pentru a obţine energii mai mari. În 1945, E. M. McMillan, în Statele Unite, şi V. J. Veksler, în Uniunea Sovietică, au propus, independent, principiul stabilităţii de fază pentru realizarea de acceleratoare circulare pentru energii mai mari. Pe baza acestui principiu, care permite menţinerea particulelor accelerate în fază cu tensiunea de înaltă frecvenţă acceleratoare, de-a lungul unui număr infinit de rotaţii, s-au construit două noi tipuri de instalaţii: sincrociclotronul şi sincrotronul.

Sincrociclotronul a permis accelerarea protonilor (sau a altor particule mai grele) pînă la cîteva sute de MeV. Particulele parcurg o traiectorie în spirală; înalta frecvenţă este modulată: ea descreşte pe măsură ce energia particulelor şi masa lor relativistă creşte. Cîmpul magnetic este constant. Primul sincrociclotron american a intrat în funcţiune în 1946, la Berkeley, iar primul sincrociclotron din U.R.S.S., în 1949, la Dubna. Recent s-au construit şi ciclotroane izocrone, în care cîmpul magnetic variază de-a lungul unei raze, nu numai de-a lungul azimutului; aceste instalaţii furnizează fascicule de particule de mare intensitate.

În sincrotronul de electroni (primul de acest tip a fost pus în funcţiune în 1946), electronii ajung foarte rapid (pe la 4 MeV) la o viteză constantă, practic egală cu viteza luminii; de aici înainte, electronii sînt acceleraţi de o tensiune de înaltă frecvenţă constantă şi descriu o traiectorie cu rază constantă, într-un cîmp magnetic a cărui intensitate creşte pe măsură ce creşte şi energia electronilor. Electromagneţii sînt dispuşi în formă de inel de-a lungul traiectoriei. Actualmente sînt în construcţie sincrotroane de electroni pînă la 7 GeV. Dificultăţile construirii lor provin în special din pierderile mari de energie prin radiaţie suferite de electroni în mişcarea lor circulară. Sincrotroanele, ca şi sincrociclotroanele, accelerează particulele în impulsuri succesive. Se încearcă să se obţină şi intensităţi ridicate în fascicul.

Sincrotronul de electroni a înlocuit, în domeniul energiilor mari, betatronul realizat de Kerst în 1941. Betatronul este format dintr-un electromagnet cu miez plin, care funcţionează ca un transformator: electronii sînt acceleraţi prin inducţie, într-un cîmp magnetic cu variaţie foarte rapidă în timp.

Acceleratoarele liniare au fost perfecţionate după război, datorită în special eforturilor lui Alvarez, Hansen, Panofsky şi alţii.

Aceste realizări au fost posibile datorită descoperirii principiului stabilităţii de fază şi perfecţionării tehnicii radarului în timpul ultimului război mondial. S-au pus la punct acceleratoare liniare de protoni şi de ioni grei de mare intensitate. Cele mai mari instalaţii liniare sînt acceleratoarele pentru electroni, în care aceştia pot atinge energii şi intensităţi foarte mari; puterea necesară este furnizată de clistroane, care funcţionează la aproximativ 3000 megacicli. Acceleratorul liniar de la Stanford (California, S.U.A.) furnizează un fascicul de electroni de 900 MeV. La Orsay (Franţa), o instalaţie de acelaşi tip permite obţinerea unor electroni de 1 GeV; în curînd ea va furniza 1,3 GeV. La Stanford este în proiectare un al doilea accelerator liniar de 2 mile (3,2 km) lungime; el trebuie să furnizeze electroni de 10—20 GeV.

În cursa spre protoni de energii din ce în ce mai înalte, s-a stabilit curînd că sincrociclotroanele pentru mai mult de un miliard de eV ar necesita greutăţi ale electromagnetului şi preţuri prohibitive. Era necesară deci o instalaţie de tip nou. În 1943, Oliphant a propus construirea unui accelerator de forma unui inel, în care protonii să fie acceleraţi pe o traiectorie cu rază constantă, prin variaţia simultană a cîmpului magnetic şi a frecvenţei tensiunii aplicate.

După război, principiul stabilităţii fazei a permis punerea în practică a proiectului lui Oliphant. Un prim sincrotron de protoni a intrat în construcţie la Birmingham (Anglia). Protonii sînt injectaţi în inel cu ajutorul unui accelerator de energie mai mică (de exemplu un accelerator liniar sau Van de Graaff). În continuare au fost construite şi alte instalaţii, ca bevatronul de la Berkeley, cosmotronul de la Brookhaven, sincrofazotronul de la Dubna, Saturn de la Saclay. Toate sînt sincrotroane de protoni.

În 1952, cercetările lui Courant, Livingston şi Snyder, ca şi cele ale lui Christofilos, au demonstrat posibilitatea realizării unui sincrotron de protoni cu gradient alternativ al cîmpului magnetic şi cu focalizare intensă.

Acest principiu deosebit de interesant permite reducerea dimensiunilor camerei de accelerare şi ale electromagneţilor. El este folosit la cele mai mari acceleratoare care sînt în funcţiune actualmente: sincrotronul CERN de la Geneva, pus în funcţiune la sfîrşitul anului 1959, furnizează protonilor o energie de 28,5 GeV, cu o intensitate de $2 \cdot 10^{11}$ protoni la fiecare 3 secunde. Marele sincrotron de la Brookhaven a început să furnizeze protoni de 30 GeV în 1960. În majoritatea marilor sincrotroane care sînt în construcţie, se încearcă să se obţină în acelaşi timp atît energii, cît şi intensităţi mari.

Pentru a realiza, în sistemul centrului de masă, energii mult mai mari decît cele obţinute pînă acum, au fost construite în mai multe laboratoare inele de ciocnire între electroni (metoda fasciculelor încrucişate). Există şi un proiect pentru astfel de fascicule încrucişate pentru protoni, la CERN.

Ca urmare a acestor perfecţionări, în mai puţin de 15 ani energia acceleratoarelor de particule a crescut de peste 2000 de ori. Astăzi sîntem foarte departe de micul aparat de laborator construit cu mijloace modeste de Lawrence în 1932. Primele acceleratoare de după război au fost realizate în vederea studierii reacţiilor nucleare şi a structurii nucleului la energii mari. După descoperirea celor doi mezoni π şi μ în radiaţia cosmică (1946), s-a încercat să se producă artificial aceste două particule. Primii mezoni „artificiali“ au fost observaţi de Gardner şi Lattès la Berkeley, în 1948. În continuare s-au putut produce cu acceleratoarele şi celelalte particule instabile descoperite succesiv în radiaţiile cosmice, s-au descoperit şi alte particule noi şi li s-au studiat interacţiile şi modurile de dezintegrare.

Aceste instalaţii remarcabile au transformat profund şi în scurt timp metodele de cercetare din fizica nucleară. Construirea acestor acceleratoare necesită credite considerabile, care impun uneori luarea de decizii la scară naţională; ea merge mînă în mînă cu evoluţia unei întregi categorii de ramuri industriale. Aceste mijloace enorme sînt concentrate într-un număr relativ restrîns de mari centre de cercetare, în care lucrează, cot la cot, fizicieni, matematicieni, chimişti, ingineri, ajutaţi de numeroşi tehnicieni şi laboranţi. Experienţele au devenit în general preocuparea unor colective mari. În acelaşi timp, s-a accentuat mult şi specializarea. Din această cauză, fizica nucleară experimentală şi cea teoretică au devenit două ramuri distincte. Pe de altă parte, dezvoltarea marilor centre de cercetare face şi mai necesară colaborarea internaţională care, din fericire, s-a dezvoltat în cursul ultimilor ani[8].

E. RADIAŢIILE COSMICE ŞI PARTICULELE ELEMENTARE

Istoria fizicii nucleare a marilor energii şi a particulelor elementare este strîns legată, cel puţin la începuturile sale, de cea a radiaţiilor cosmice. Descoperite la începutul secolului, aceste radiaţii au constituit mult timp unica

---

[8] O situaţie la zi, cu cele mai puternice acceleratoare din lume se poate găsi în cartea „Energia atomică“ a acad. Ioan Ursu — excelentă sinteză a întregii problematici pe care o comportă subiectul tratat. — *N.I.-P.*

I. Sincrotroane cu protoni

Locul în care este amplasat aparatul	*Energia maximă (în GeV)*	*Raza medie (în metri)*	*Anul de intrare în funcţiune*
Laboratorul naţional Brookhaven (S.U.A.)	30,0	128,5[1]	1960
C.E.R.N., Geneva	28,5	100,0[1]	1959
Institutul unificat, Dubna (U.R.S.S.) (sincrofazotron)	10,0	30,5	1957
Universitatea din California, Berkeley (S.U.A.) (bevatron)	6,2	19,2	1954
Laboratorul naţional Brookhaven (S.U.A.) (cosmotron)	3,0	9,1	1952
C.E.A., C.E.N., Saclay (Franţa) (Saturn)	3,0	11,0	1958
Universitatea din Birmingham (Anglia)	1,0	5,0	1953
În construcţie:			
Universitatea din Canberra (Australia)	10,6		
Regiunea Moscova (U.R.S.S.)	70,0		
Regiunea Moscova (U.R.S.S.)	7,0		
Laboratorul Rutherford, Harwell (Anglia)	7,0		
Laboratorul naţional Argonne (S.U.A.)	12,5		
Laboratorul din Princeton, Pennsylvania, Princeton (S.U.A.)	3,0		
Universitatea tehnică din Delft (Olanda)	1,0		

[1] Cu gradient alternativ şi cu focalizare intensă.

II. Principalele sincrociclotroane

Locul în care este amplasat aparatul	*Energia (în MeV)*	*Diametrul pieselor polare (în metri)*		*Anul de intrare în funcţiune*
Universitatea din California, Berkeley (S.U.A.)	350	4,7	Deuteroni	1946
	mărit la		Protoni	1949
	730			1957
Institutul unificat, Dubna (U.R.S.S.)	680	6,0	Deuteroni şi α	1949
			Protoni	1953
C.E.R.N., Geneva	600	5,0		1958
Universitatea din Chicago (S.U.A.)	460	4,3		1951
Universitatea Columbia, New York	385	4,2		1950
Universitatea din Liverpool (Anglia)	410	4,0		1954
Institutul tehnologic Carnegie, Pittsburgh (S.U.A.)	440	3,6		1951
Universitatea din Rochester (S.U.A.)	240	3,3		1948
A.E.R.E., Harwell (Anglia)	175	2,8		1949
Universitatea din Uppsala (Suedia)	185	2,3		1951
Universitatea din Harvard, Cambridge (S.U.A.)	159	2,4		1949
Facultatea de ştiinţe, Saclay (Franţa)	157	2,8		1958
Universitatea McGill, Montréal (Canada)	100	2,1		1949
În construcţie:				
Laboratorul Oak Ridge (S.U.A.) (ciclotron izocron de foarte mare intensitate)	800			

FIG. 17. TABELUL MARILOR ACCELERATOARE DE PROTONI.

sursă de particule de mare energie, necesare în studiul aprofundat al proprietăţilor materiei şi al constituenţilor ei. Totuşi, după apariţia marilor acceleratoare de particule, fizica energiilor înalte s-a despărţit treptat de cea a radiaţiilor cosmice şi, cucerindu-şi independenţa, a căpătat un caracter cvasi-industrial. Lăsînd pe fizicieni cu „spărgătorii lor de atomi“, cecetătorii radiaţiilor cosmice, înzestraţi cu rachete şi sateliţi artificiali, s-au alăturat în ultimul timp astrofizicienilor. Radiaţiile cosmice, care au permis astfel defrişarea unui domeniu din infinitul mic şi care conţin particule cu o energie încă neegalată, au devenit un puternic instrument în studiul universului şi al istoriei sale.

PRIMA EXPLORARE A RADIAŢIEI COSMICE. Fizicienii care efectuau cercetări asupra conductibilităţii electrice în gaze, au observat în 1900 că un electroscop se descarcă lent şi spontan, ca şi cum ar fi fost traversat de o radiaţie de slabă intensitate. C. T. R. Wilson a emis ipoteza unei origini extraterestre a acestei radiaţii misterioase, dar nu a putut să-i dovedească existenţa; s-a mai atribuit această descărcare spontană şi influenţei radioactivităţii scoarţei terestre.

În 1910, Gockel a ridicat însă un electroscop într-un balon, pînă la 4000 m altitudine, fără a observa o scădere a intensităţii radiaţiei parazite. În 1912, Hess a efectuat o serie de ascensiuni în balon pînă la 5000 m şi a arătat că intensitatea radiaţiei creştea cu altitudinea. Rezultatele sale au fost confirmate de Kolhörster, care s-a ridicat de mai multe ori, între 1914 şi 1919, pînă la 9000 m. La această altitudine, el a observat o intensitate a ionizării parazite de zece ori mai mare decît cea observată la nivelul mării. Noua radiaţie se dovedea astfel mult mai pătrunzătoare chiar decît radiaţiile γ cele mai energice.

Aceste rezultate au condus la numeroase discuţii, astfel că originea extraterestră a noilor radiaţii, prezisă de Wilson şi afirmată de Hess, nu a fost admisă unanim decît după 1926. Ele au primit atunci denumirea de radiaţii cosmice şi de ultraradiaţii γ.

În cursul unei călătorii de la Amsterdam la Batavia, fizicianul olandez Clay a descoperit, în 1927, efectul de latitudine: intensitatea radiaţiei cosmice descreşte de la pol spre ecuatorul magnetic. Această variaţie cu latitudinea a fost precizată prin lucrările unor fizicieni, în particular ale lui Compton, Millikan şi ale colaboratorilor lor. A fost necesară atunci revizuirea primelor explicaţii asupra radiaţiilor cosmice. Efectul de latitudine a fost interpretat ca fiind datorat acţiunii cîmpului magnetic terestru asupra unor particule primare încărcate, presupuse a fi electroni.

Oricare ar fi natura sa, se părea că radiaţia cosmică primară este profund modificată după traversarea atmosferei terestre. S-a recunoscut în radiaţia secundară de la nivelul mării existenţa a două componente: o componentă moale, oprită de 10 cm plumb, şi o componentă dură, care este atenuată la jumătate numai după traversarea unui strat de 1 m de plumb.

În 1927, folosind o cameră Wilson, Skobelţîn a putut să fotografieze traiectoriile particulelor încărcate, din radiaţia secundară. El a observat astfel existenţa unor particule asociate, care corespund aşa-numitelor jerbe, şi a determinat impulsul particulelor măsurînd raza de curbură a traiectoriilor lor într-un cîmp magnetic. Jerbele au fost observate şi de Hoffman într-o cameră de ionizare, în care acestea se manifestau printr-o variaţie bruscă a curentului de ionizare.

În 1932, Blackett şi Occhialini au folosit un sistem de contori de montaj de coincidenţă pentru declanşarea unei camere Wilson. Cu un astfel de sistem de contori, Rossi a studiat, în 1932, dezvoltarea jerbelor sub forma de jerbe în cascadă. El a observat că numărul particulelor înregistrate după un absorbant (de exemplu plumb) creşte la început cu grosimea absorbantului, iar apoi scade (efect de tranziţie). Absorbantul produce deci, pentru o grosime convenabilă, o multiplicare a particulelor.

Cheia aplicaţiei fenomenului a fost găsită în acelaşi an, cînd Anderson a descoperit electronul pozitiv, prevăzut cu doi ani mai înainte de teoria lui Dirac. Blackett şi Occhialini au observat electroni pozitivi printre particulele din jerbe şi au emis ipoteza că aceşti electroni pozitivi — pozitronii — apar odată cu cei negativi, în momentul în care fotonii sînt absorbiţi în vecinătatea unui nucleu (vezi pp. 341, 342). Fenomenul jerbelor în cascadă, sau al jerbelor fotoelectronice, primea astfel o interpretare.

Frînat brusc în cîmpul electric intens al unui nucleu, un electron de foarte mare energie radiază o parte din energia sa, emiţînd un foton. În vecinătatea unui nucleu, fotonul se poate transforma într-o pereche electron-pozitron. Fiecare dintre aceşti electroni poate emite, la rîndul său, un foton de frînare, care se va transforma din nou într-o pereche. Astfel se înţelege uşor apariţia multiplicării particulelor în cazul traversării unui element greu. Cînd energia iniţială este repartizată pe un foarte mare număr de particule, acestea nu mai sînt capabile să se multiplice, iar jerba se „stinge" prin absorbţie.

Teoria acestor jerbe a fost elaborată în 1934 de Bethe şi Heitler. Dar ea nu putea explica comportarea componentei dure, care mai poate fi detectată chiar la mari adîncimi, sub sol. Lipsea deci un element din lanţul explicării, care a fost descoperit mai tîrziu.

Jerbele fotoelectronice apar şi în atmosferă: acestea sînt jerbele mari aeriene, sau jerbele Auger, descoperite în 1938 de P. Auger şi colaboratorii săi. Particulele ce aparţin acestor jerbe sosesc simultan pe suprafaţe de mai multe sute de metri pătraţi. Ele permit detectarea particulelor celor mai energice, din radiaţia cosmică primară.

RADIAŢIA COSMICĂ PRIMARĂ. Studiul radiaţiei primare şi, în particular, al efectelor geomagnetice, a continuat concomitent. După efectul de latitudine, în 1933 s-a descoperit efectul est-vest, caracterizat printr-un surplus de particule provenite dinspre vest. O teorie a traiectoriilor particulelor încărcate în cîmpul magnetic terestru a condus pe Vallarta, în 1938, la concluzia că efectele geomagnetice indică o predominaţie a particulelor cosmice primare cu sarcină pozitivă. În urma experienţelor efectuate la mari altitudini, cu ajutorul unor baloane stratosferice, Schein a dovedit, în 1940, că radiaţiile primare sînt protoni.

Intensitatea protonilor primari este cu atît mai mică, cu cît energia lor E este mai mare. Ea variază aproximativ ca $E^{-2,7}$. La această energie există o limită inferioară limita geomagnetică), care depinde de latitudine şi de unghiul traiectoriei particulelor cu direcţia est-vest: ea este de aproximativ $2 \cdot 10^9$ eV la Paris şi variază între 10 şi $60 \cdot 10^9$ eV la ecuator. Fluxul protonilor primari este de aproximativ o particulă pe cm² şi pe secundă, la latitudinea Parisului. Distribuţia lor este izotropă dincolo de atmosfera terestră.

După ultimul război mondial explorarea radiaţiei primare la altitudini foarte mari a fost efectuată foarte activ cu ajutorul baloanelor-sondă şi cu rachete de tip V_2. În diferite ţări ale lumii, colective de fizicieni au expediat la altitudini mari instalaţii uşoare şi mai ales emulsii fotografice sensibile pentru detectarea particulelor încărcate. Observarea microscopică a acestor emulsii, după developarea lor, scotea în evidenţă numeroase traiectorii foarte fine, materializate prin granule de argint. Dar, în 1948, o placă fotografică expusă la altitudinea de 30 km a adus la sol dovada unui fenomen nou: o urmă atît de groasă încît era vizibilă cu ochiul liber! Aşa s-a descoperit existenţa, alături de cea a protonilor primari, a unor nuclee ale diferitelor elemente, de la heliu pînă la fier şi chiar mai grele, lipsite în întregime de electronii lor. Aceste nuclee se dezintegrează rapid la contactul cu atmosfera, ceea ce explică de ce nu li s-a bănuit mai demult existenţa.

S-a determinat apoi proporţia diferitelor nuclee primare (ionizarea şi, deci, grosimea urmei în emulsie este proporţională cu pătratul sarcinii nucleului) şi această proporţie s-a dovedit foarte asemănătoare cu cea a elementelor din univers, ceea ce a suscitat un nou interes în problema originii radiaţiilor cosmice.

Aceasta deoarece problema originii radiaţiilor cosmice nu este încă rezolvată. Ea este deosebit de dificilă, datorită existenţei radiaţiilor primare de energii extrem de mari. Recent s-au detectat, prin intermediul jerbelor Auger, pe care le produc în atmosferă, protoni cu energii de 10^{18} eV, adică 0,16 jouli. La început s-a presupus că radiaţiile cosmice ar putea fi emise de Soare, izotropia lor la marginea atmosferei fiind explicată de cîmpul magnetic terestru. Într-adevăr, se observă legături între intensitatea radiaţiilor primare de energie joasă şi activitatea solară. Dar Soarele nu poate fi considerat ca sursă a particulelor cu energii foarte mari.

S-a apelat atunci la ipoteza unei origini galactice a radiaţiilor cosmice. Acestea ar fi emise în cursul exploziilor stelelor (a supernovelor) la energii mari, sau de stele asemănătoare cu Soarele nostru la energii mici, fiind apoi accelerate progresiv în cîmpurile magnetice interstelare.

Această ultimă teorie, elaborată de Fermi în 1949, asimilează într-un fel Calea Laptelui cu un gigantic accelerator de particule. Prin măsurători asupra polarizării luminii emise de stele, astrofizicienii au reuşit să pună în evidenţă existenţa unor astfel de cîmpuri magnetice (de ordinul a 10^{-5} — 10^{-6} gauss). Traiectoriile particulelor se înfăşoară în jurul liniilor de cîmp ale cîmpului care le menţine în galaxie şi le asigură o distribuţie izotropă.

Se poate demonstra totuşi că radiaţiile primare cu energii mai mari de 10^{17} eV provenite din stelele depărtate nu vor fi curbate suficient şi vor scăpa în afara galaxiei cu condiţia să nu fie emise în planul ecuatorial al acesteia. Ar trebui deci să se observe o întrerupere a spectrului de energii şi un efect direcţional al radiaţiilor primare cu energii mai mari de 10^{17} eV.

Au fost efectuate experienţe gigantice, în special în S.U.A. şi U.R.S.S., cu detectoare de particule dispuse pe suprafeţe de ordinul a 1 km². Energia radiaţiei primare se deduce din structura jerbei Auger pe care aceasta o produce, iar direcţia sa se deduce din diferenţa timpurilor de sosire a unor particule diametral opuse. Pînă acum nu s-a observat nici o variaţie bruscă în spectrul de energii, nici o emisie privilegiată în vecinătatea planului median al Căii Laptelui. Putem oare presupune în acest caz că galaxia noastră este înconjurată de un „halo“ magnetic sferic? Sau că radiaţiile cosmice vin mai de departe, datorită existenţei unor cîmpuri magnetice în spaţiul intergalactic? Actualmente nu putem încă răspunde la aceste întrebări pasionante.

După 1957, sateliţii artificiali şi rachetele cosmice au mărit considerabil numărul mijloacelor de cercetare a cosmosului. Pînă prin 1953, părea bine stabilit faptul că intensitatea radiaţiei cosmice creşte de la sol pînă la o altitudine de aproximativ 20 km, apoi descreşte pînă la 40 km, rămînînd în continuare constantă pînă dincolo de atmosfera terestră. După 1953, datorită unor mici rachete lansate de pe baloane, fizicianul american J. A. Van Allen şi colaboratorii săi au pus în evidenţă o creştere a intensităţii radiaţiei de energie slabă pînă la vreo sută de kilometri altitudine; dar abia în 1958 semi-

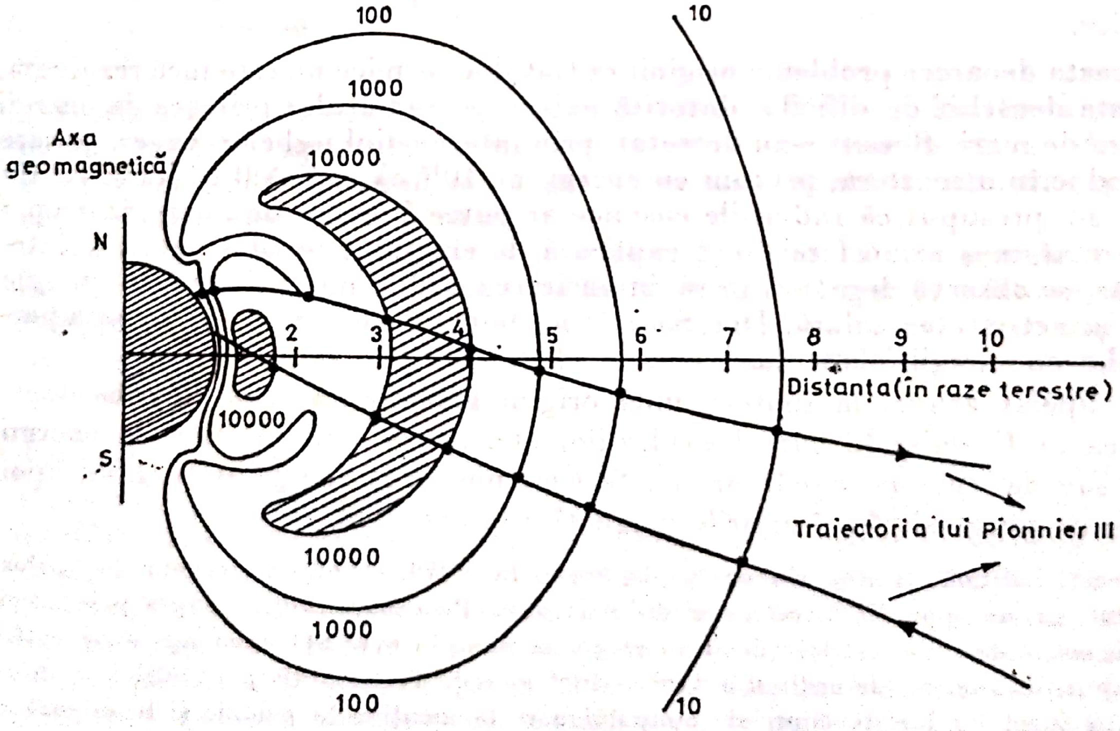


FIG. 18. SCHEMA CENTURILOR DE RADIAŢII ALE PĂMÎNTULUI (J.A. VAN ALLEN, 1959).

eşecul satelitului american *Explorer III* a condus la descoperirea centurilor de radiaţii. O funcţionare defectuoasă a sistemului de ghidare a creat acestui satelit o orbită foarte alungită, care a permis explorarea completă a spaţiului extra-atmosferic pînă la 3000 km altitudine.

Aceste rezultate au fost precizate şi extinse datorită experienţelor efectuate de rachetele cosmice sovietice şi cele din seria americană Pioneer. De la aceste experienţe memorabile, se ştie că Pămîntul este înconjurat de două centuri de radiaţii.

Zona interioară, destul de îngustă, se găseşte la aproximativ 3600 km altitudine, de-a lungul ecuatorului geomagnetic. Zona exterioară se prezintă mai degrabă ca un manşon cu o secţiune de forma Lunii crescătoare, cu o grosime maximă cît raza terestră şi situată la o distanţă medie de 16 000 km pe ecuatorul geomagnetic, înconjurînd complet Pămîntul, cu excepţia regiunilor polare. În aceste două zone circulă electroni cu energii de cîteva sute de KeV (care sînt capabili să producă radiaţii X extrem de dure la ciocnirea cu pereţii rachetei) şi protoni cu o energie de cîteva zeci de MeV. Nivelul de radiaţie, de peste un milion de ori mai mare decît cel al radiaţiei cosmice, depăşeşte foarte mult şi nivelul maxim permis.

„DE LA MEZONUL μ LA MEZONUL π“, SAU DE LA RADIAŢIILE COSMICE LA ACCELERATOARELE DE PARTICULE. Cu cîţiva ani înainte de cel de-al doilea război mondial, se părea că universul fizic poate fi construit cu un număr restrîns de elemente. În 1935 însă, teoreticianul japonez H. Yukawa a prezis existenţa unei noi particule, *mezonul* (ceea ce înseamnă „intermediar“).

Protonii şi neutronii din nucleu sînt puternic legaţi de către forţe de un tip special, numite forţe nucleare. Aşa cum interacţia dintre două sarcini electrice este interpretată în mecanica cuantică prin schimbul unui foton, tot aşa şi interacţia dintre doi nucleoni poate fi interpretată prin schimbarea unei alte particule, care reprezintă cuanta cîmpului nuclear. Dar natura forţelor nucleare, caracterizată printr-o rază de acţiune limitată, conferă acestei particule o masă. Yukawa a calculat că această masă ar trebui să fie de 200 ori mai mare decît cea a electronului. El a prezis şi faptul că noua particulă trebuie să fie instabilă, dezintegrîndu-se, după o viaţă medie de 10^{-7} s, într-un electron şi un neutrin.

În aceeaşi perioadă, cercetătorii cosmosului, neputînd explica puterea de pătrundere a componentei dure a radiaţiei cosmice cu ajutorul particulelor cunoscute, simţeau necesitatea unei noi particule. Dar, pentru ca particula lui Yukawa să poată exista şi în afara calculelor lui, era necesar ca interacţia dintre nucleoni să fie extrem de energică, cum sînt interacţiile care se produc în cazul radiaţiilor cosmice. În 1938, Anderson a observat efectiv în camera Wilson traiectoria unei particule cu o masă de 200 ori mai mare decît cea a electronului. În 1940, tot cu camera Wilson, Williams şi Robert au obţinut primul clişeu care arăta dezintegrarea mezonului cosmic cu formarea unui electron.

Totul părea deci rezolvat şi universul fizic de o ordine perfectă. Dar această descoperire nu era decît începutul unei lungi serii de dificultăţi ce aveau să se amplifice, şi care se mai menţin încă şi astăzi. În cîţiva ani, fizicienii au fost martorii dispariţiei treptate a concordanţei dintre teorie şi experienţă.

Masa mezonului cosmic, determinată cu cea mai mare precizie, era ceva mai mare decît 200 m_e, în timp ce masa teoretică a lui, calculată pe baza noilor date experimentale asupra forţelor nucleare, era de aproape 300 m_e. Viaţa medie, de aproximativ $2 \cdot 10^{-6}$ s, era de zece ori mai mare decît valoarea calculată de Yukawa. În sfîrşit, în 1946, Conversi, Pancini şi Piccioni au reuşit să selecţioneze magnetic mezonii pozitivi şi negativi, pentru a le studia interacţiile cu materia. Ei au ajuns la un paradox: această particulă, care apărea din abundenţă în interacţiile nucleare la energii înalte, interacţiona foarte slab cu materia.

Aceasta însemna că mezonul cosmic nu era particula lui Yukawa. Anul 1947 a fost martorul unei evoluţii foarte rapide a fizicii energiilor înalte şi a unei excepţionale abundenţe de noi particule. Fizicienii, în special cei de la Universitatea din Bristol (Anglia), au repus la loc de cinste o veche metodă de detectare a radiaţiilor, şi anume cea a plăcilor fotografice. Dar, de data aceasta, era vorba de emulsii mult mai sensibile, cu grosimi de cîteva zecimi de milimetru. Studiul lor microscopic scotea în evidenţă prezenţa unor urme mai mult sau mai puţin fine, datorate unor particule încărcate. Explozia unui nucleu în urma ciocnirii cu o particulă rapidă se prezenta într-o astfel de emulsie sub forma unui mare număr de urme pornind toate din acelaşi punct, formînd o „stea".

În 1947, o colaboratoare a Universităţii din Bristol a observat pe o placă fotografică, expusă într-o staţiune de munte, un fenomen curios pe care nu a ştiut să-l interpreteze. O urmă devenea din ce în ce mai groasă şi în zig-zag în emulsie, aceasta constituind o caracteristică pentru particulele ce se încetinesc prin ionizarea atomilor mediului traversat. De la punctul final pornea o urmă mai fină, care se oprea şi ea după un parcurs de aproximativ 600 microni. Puţin mai tîrziu, Lattès, Occhialini şi Powell puteau să anunţe existenţa a două tipuri diferite de mezoni: un mezon numit π, care apărea în interacţiile nucleare, după cum prevăzuse Yukawa, şi care se dezintegra apoi într-un mezon secundar, μ, care nu era altul decît mezonul cosmic.

S-a stabilit rapid că schema de dezintegrare a mezonului π este

$$\text{mezon } \pi \rightarrow \text{mezon } \mu + \text{neutrino}.$$

Studiul dezintegrării mezonului μ a fost mai dificil. Pontecorvo a reuşit să stabilească reacţia

$$\text{mezon } \mu \rightarrow \text{electron} + 2 \text{ neutrini}.$$

În 1948, acceleratoarele de particule au început să intervină în domeniul rezervat radiaţiilor cosmice. Pînă atunci, ciclotroanele permiteau doar studiul reacţiilor nucleare la energii joase. În 1948, sincrociclotronul de la Berkeley, al cărui electromagnet cîntărea 4000 t, a permis crearea primilor mezoni π artificiali. Aproape în aceeaşi perioadă s-a construit o instalaţie asemănătoare la Moscova. A apărut astfel posibilitatea efectuării unor experienţe cu mezoni, folosind fasciculele intense produse la sincrociclotroane. S-au determinat masele, vieţile medii şi spinii mezonilor. Studiul interacţiilor mezonilor π continuă şi acum în diverse laboratoare ale lumii care sînt înzestrate cu acceleratoare (S.U.A., U.R.S.S., Marea Britanie, Franţa, Italia, CERN).

În 1948 se cunoşteau doar mezonii π şi μ pozitivi şi negativi. Pentru a putea interpreta interacţiile dintre doi neutroni şi doi protoni era însă necesară şi existenţa unui mezon neutru. Fizicienii de la Berkeley au pus în evidenţă, în 1950, existenţa unui mezon π°, particulă efemeră care se descompune foarte rapid în doi fotoni. S-a dovedit însă că nu există mezon neutru.

Mezonii π reprezintă veriga care lipsea în interpretarea radiaţiei cosmice secundare. Apăruţi în interacţiile protonilor primari cu nucleele atmosferei, mezonii π încărcaţi se dezintegrează în mezoni μ, a căror interacţie nucleară este aproape nulă şi care formează componenta penetrantă. Mezonii π° se dezintegrează în fotoni cu energie foarte mare şi stau deci la baza componentei fotoelectronice. Aceleaşi interacţii produc alţi protoni şi neutroni care interacţionează, la rîndul lor, formînd un proces în cascadă.

PROGRESE ÎN METODELE EXPERIMENTALE. În cursul ultimilor zece ani, fizica experimentală a evoluat spre gigantism. Laboratoarele în care se manipulau cîteva instrumente fragile au devenit adevărate uzine, în care lucrează largi colective de fizicieni, de ingineri, de tehnicieni şi de laboranţi. Cercetarea nu se mai poate efectua activ decît în cadrul unor colective numeroase şi înzestrate cu mijloace puternice.

În sincrotroanele protonice, dintre care primul a fost pus în funcţiune în 1952, fiecare proton parcurge, înainte de a atinge energia sa maximă, o distanţă de ordinul distanţei Pămînt-Lună.

La intervale de cîteva secunde, un sincrotron furnizează un plus de $10^{10} - 10^{11}$ protoni pe ciclu de accelerare. La sfîrşitul ciclului, o ţintă este introdusă în fasciculul de protoni care circulă printr-o cameră vidată. Această ţintă constituie sediul a numeroase interacţii nucleare şi emite particule secundare. Aceste particule secundare pot fi selecţionate, analizate şi focalizate cu ajutorul unor electromagneţi deflectori şi a unor lentile magnetice de mai multe tone greutate. Se formează astfel fascicule de particule care sînt trimise spre detectori potriviţi. De cîţiva ani se folosesc şi separatori cu plăci paralele, cu lungimi de mai mulţi metri. Combinarea unui cîmp magnetic şi a unui cîmp electric (produs de o tensiune de cîteva sute de mii de volţi între plăci) deviază toate particulele în afara celor de o anumită viteză.

În paralel, şi detectoarele de particule au evoluat. Emulsiile fotografice, care cunoscuseră un succes strălucit încă din 1947, au devenit suficient de sensibile pentru a înregistra urmele celor mai rapide particule încărcate.

Plachete de emulsii fără suport, formînd un detector solid cu un volum de mai mulţi litri, sînt expuse la altitudini foarte mari, în baloane stratosferice, sau în calea fasciculelor acceleratoarelor. După developare, este posibilă urmărirea la microscop a traiectoriei aceleiaşi particule de la o placă la alta, ceea ce conduce la o abundentă recoltă de date. Plăcile fotografice şi-au pierdut deocamdată importanţa pe care le-o conferea greutatea lor redusă şi simplitatea utilizării.

Şi camera Wilson declanşată de contori a cunoscut, de asemenea, epoca sa de glorie.

S-au construit camere mari cu volume de un metru cub sau chiar mai mult. Anumite experienţe au necesitat două camere suprapuse, una într-un cîmp magnetic, iar cealaltă prevăzută cu plăci în care interacţionează particulele. Această metodă s-a dovedit extrem de fecundă în cazul radiaţiei cosmice, dar s-a adaptat mai puţin satisfăcător la acceleratoare, al căror ritm nu l-a putut urma.

Instrumentul preferat al fizicii particulelor elementare este astăzi camera cu bule, al cărui principiu a fost imaginat de D.A. Glaser, în 1952.

Un lichid apropiat de starea de fierbere este destins brusc. În acel moment, începe fierberea în interiorul lichidului, iar primele bule de vapori se formează pe ionii lăsaţi de traiectoria unei particule încărcate. Această traiectorie este deci materializată de o înşiruire de bule în interiorul lichidului. Camera cu bule reuneşte avantajele emulsiei fotografice (mediu dens şi deci o mare probabilitate de a observa interacţiile) şi ale camerei Wilson (dimensiuni suficiente pentru a observa dezintegrarea particulelor instabile). Lichidul folosit poate fi hidrogenul, propanul sau un lichid greu (amestec de propan şi iodură de metil sau freon, sau chiar xenon), care favorizează materializarea radiaţiilor γ şi permite detectarea mezonilor π^0. Camerele cu hidrogen lichid dau posibilitatea studierii directe a interacţiilor particulelor cu protonii. Camera cu hidrogen a lui Alvarez, de la Berkeley, are o lungime de un metru. În construcţie sînt alte camere mai mari. Ele reprezintă instalaţii foarte complexe, care necesită colaborarea unor numeroşi specialişti.

Camerele cu bule sînt capabile să urmărească ritmul acceleratoarelor, adică să fie declanşate la intervale de cîteva secunde. Ne putem imagina astfel uşor faptul că studiul unui fenomen anumit poate fi efectuat asupra unui lot de o sută de mii de fotografii sau mai multe, şi în modul cel mai rapid posibil. Prelucrarea acestui material este efectuată de o întreagă armată de specialişti. Analiza evenimentelor obţinute se efectuează mai mult sau mai puţin automat, iar rezultatele sînt înregistrate sub forma unor cartele perforate, care transmit informaţiile lor unui calculator electronic.

Şi contorul Geiger-Müller a cedat locul său altor detectoare şi mai ales tuburilor electronice fotomultiplicatoare.

Circuitele de coincidenţă pot deosebi două impulsuri separate de un interval de ordinul miliardimii de secundă. Anumite experienţe recente necesită sute de scintilatoare şi fotomultiplicatoare. Impulsurile sînt analizate de circuite electronice în mare parte tranzistorizate. Rezultatele sînt înregistrate imediat pe o memorie magnetică şi apoi, între două cicluri ale acceleratorului, sînt transcrise pe o bandă perforată sau pe o bandă magnetică pentru a putea fi prelucrate la un calculator electronic.

De o mare utilizare se bucură şi contorul Cerenkov, în care se detectează lumina emisă de o particulă încărcată care traversează un mediu transparent cu o viteză mai mare decît viteza luminii în acest mediu. Aceste detectoare permit determinarea directă a vitezei particulelor.

Gama detectoarelor creşte de la an la an. Vom aminti aici doar camera cu scîntei: traiectoria unei particule se observă după scînteile care apar între plăci metalice menţinute la potenţiale ridicate; această metodă pare a găsi vaste domenii de aplicaţii[9].

FAUNA PARTICULELOR STRANII. Existenţa unei particule mai grele decît mezonul π a fost sugerată în 1944 de Leprince-Ringuet şi Lhéritier, cu ocazia studierii unei ciocniri în gazul din camera Wilson. În 1947, Rochester şi Butler au observat, tot într-o cameră Wilson, două urme bifurcate, care puteau fi interpretate prin dezintegrarea în zbor a unei particule neutre şi, respectiv, a unei particule încărcate, masele acestora fiind de aproximativ 1000 de ori mai mari decît cea a electronului. În următorii trei ani au fost observate cîteva zeci de astfel de elemente de către colectivele lui Anderson şi Blackett, care au sugerat şi denumirea de „particule V".

Grupul lui Powell de la Bristol a observat, în 1949, într-o placă fotografică, urma unei particule ce se dezintegra în trei mezoni; masa acestei particule era de aproximativ 1000 m_e. Ea a fost denumită mezon τ.

În 1951, studiind un lot de 36 evenimente, colectivul din Manchester a sugerat existenţa a două particule diferite, responsabile de apariţia particulelor V neutre, care se dezintegrează în modul următor: $V_1^0 \rightarrow$ proton $+ \pi^-$; $V_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$.

În acelaşi an au fost descoperite noi tipuri de astfel de particule instabile. O'Ceallaigh a observat două evenimente neobişnuite, studiind distribuţia energiei electronilor emişi în cursul dezintegrării mezonilor μ în plăci fotografice. O particulă cu o masă de ordinul 1000 m_e se dezintegra în repaus, emiţînd cînd o particulă secundară foarte energică, cînd un mezon de aproximativ 6 MeV. O'Ceallaigh a emis ipoteza existenţei unei noi particule, pe care a denumit-o $\varkappa$, care se dezintegrează într-un mezon μ şi în două particule neutre (particula secundară încărcată neavînd o energie constantă). El a sugerat schema de dezintegrare $\varkappa^+ \rightarrow \mu^+ + \pi^\circ +$ neutrin, care nu a fost confirmată decît în 1958 de colectivul de la Universitatea din Rochester (S.U.A.)

În cursul aceleiaşi lucrări, Menon şi O'Ceallaigh au observat şi alte evenimente care nu puteau fi interpretate prin scheme de dezintegrare cunoscute. În 1953, ei au afirmat existenţa unei noi particule, $\chi : \chi^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^\circ$.

În 1952, colectivul din Manchester a publicat primul exemplu al unui eveniment neobişnuit, denumit cascadă V. Acelaşi clişeu conţinea şi o urmă bifurcată sub forma unui V răsturnat, care părea să dovedească dezintegrarea în zbor a unei particule încărcate într-o particulă secundară încărcată şi o particulă V°. Acest eveniment nu a fost confirmat decît în 1953—54 de colectivele lui Anderson şi Leprince-Ringuet.

---

[9] Cercetările radiaţiilor cosmice precum şi cercetările privind procesele elementare de interacţiune dintre particule puternic accelerate (în laborator) au în România deja o tradiţie. Printre rezultatele relevante obţinute menţionăm: distribuţia impulsului transversal al particulelor secundare în ciocniri hadronice de mare energie, modelul cu două centre pentru ciocniri nucleon-nucleon de mare energie etc. Identificarea unor particule stranii, studiul reacţiilor inclusive şi al corelaţiilor în interacţiuni pion-proton la energii mari sînt alte rezultate importante, semnalate în domeniul amintit. — *N.I.-P.*

În 1953, diferite colective au observat în emulsiile fotografice şi în camerele Wilson urmele unor particule mult mai grele decît protonul, care se dezintegrau prin emisia unei particule încărcate rapide.

Congresul Internaţional de la Bagnères-de-Bigorre, din 1953, a adus unele clarificări în domeniul notaţiilor şi al ideilor. În urma acestei largi confruntări, s-au deosebit net două grupe printre noile particule instabile: mezonii K, cu masa cuprinsă între masa mezonului π şi cea a protonului, şi hiperonii, cu masa mai mare decît cea a neutronului.

În grupul hiperonilor, vechiul V_1^0 a fost denumit Λ°, particulele descoperite mai recent au fost denumite Σ, iar particula răspunzătoare de cascada V a primit denumirea Ξ (xi). Masele acestora sînt de ordinul a 2200, 2300 şi, respectiv, 2500 m_e.

În grupul mezonilor K situaţia era mai încurcată. Particula V_2^0, observată în camera Wilson, putea fi considerată drept corespondentul neutru al particulei χ, favorită a adepţilor plăcilor fotografice; aceste particule au primit denumirea de θ° şi θ^+. În 1953, Dalitz a prezis un alt mod de dezintegrare a mezonului τ într-un mezon π încărcat şi în doi mezoni π°. Acest mezon τ' a fost descoperit în 1954 la Rochester (S.U.A.). În ciuda unor măsurători repetate şi din ce în ce mai precise, efectuate însă asupra unui număr foarte limitat de evenimente, părea imposibilă determinarea vreunei diferenţe de masă sau de viaţă medie între mezonii θ, τ şi $\varkappa$, care au fost din această cauză presupuşi a reprezenta diferite aspecte ale uneia şi aceleiaşi particule.

Noile particule instabile ridicau însă o problemă gravă în faţa teoreticienilor. Viaţa medie a acestor particule, de ordinul a 10^{-8} s pentru mezonii K încărcaţi şi de 10^{-10} s pentru mezonii K neutri şi pentru hiperoni, părea incompatibilă cu apariţia lor relativ abundentă. Calculele conduceau la o valoare mult mai mică. Diferiţi teoreticieni, printre care şi Pais, au emis în 1952 ipoteza producerii asociate a noilor particule instabile, ca de exemplu, $\pi + \text{nucleon} \rightarrow \Lambda^\circ + K$. Dezintegrarea acestor particule contrazicea o anumită regulă de selecţie, încă necunoscută, dar analoagă celor care guvernează tranziţiile atomice. Dezintegrarea era deci o „tranziţie interzisă", ceea ce ar fi putut explica viaţa sa medie mai lungă. Dimpotrivă, producerea asociată a acestor particule, care permitea ca regula să nu fie contrazisă, era asemănătoare cu o „tranziţie permisă". Rezultatele experimentale de la Brookhaven au confirmat aceste interpretări.

Gell-Mann şi Nishijima au precizat, independent, schema lui Pais şi au stabilit o clasificare a noilor particule instabile. Gell-Mann a ataşat fiecărei particule un nou număr cuantic, fără semnificaţie fizică aparentă, pe care l-a numit stranietate S.

Particulele obişnuite, adică dubletul proton-neutron (două aspecte ale aceleiaşi particule, nucleonul, care nu se deosebesc decît prin interacţiile lor electromagnetice, dependente de diferenţa lor de masă) şi tripletul π^+, π°, π^- sînt caracterizate printr-o stranietate nulă: $S = 0$. Speculaţii teoretice l-au condus pe Gell-Mann să admită existenţa unui „singlet" Λ° ($S = -1$), a unui triplet Σ ($S = -1$), a unui dublet Ξ ($S = -2$), şi a două dublete K^+, K° ($S = +1$) şi K^-, anti-K° ($S = -1$). Această schemă explica corect fenomenele cunoscute. În cazul producerii particulelor Λ°, K, stranietatea totală este nulă, dar K nu poate fi decît un K^+ sau un K°. K^- trebuie să apară simultan metalice menţinute la potenţiale ridicate; această metodă pare a găsi vaste domenii de aplicaţii[9].

FAUNA PARTICULELOR STRANII. Existenţa unei particule mai grele decît mezonul π a fost sugerată în 1944 de Leprince-Ringuet şi Lhéritier, cu ocazia studierii unei ciocniri în gazul din camera Wilson. În 1947, Rochester şi Butler au observat, tot într-o cameră Wilson, două urme bifurcate, care puteau fi interpretate prin dezintegrarea în zbor a unei particule neutre şi, respectiv, a unei particule încărcate, masele acestora fiind de aproximativ 1000 de ori mai mari decît cea a electronului. În următorii trei ani au fost observate cîteva zeci de astfel de elemente de către colectivele lui Anderson şi Blackett, care au sugerat şi denumirea de „particule V“.

Grupul lui Powell de la Bristol a observat, în 1949, într-o placă fotografică, urma unei particule ce se dezintegra în trei mezoni; masa acestei particule era de aproximativ 1000 m_e. Ea a fost denumită mezon τ.

În 1951, studiind un lot de 36 evenimente, colectivul din Manchester a sugerat existenţa a două particule diferite, responsabile de apariţia particulelor V neutre, care se dezintegrează în modul următor: $V_1^0 \rightarrow$ proton $+ \pi^-$; $V_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$.

În acelaşi an au fost descoperite noi tipuri de astfel de particule instabile. O'Ceallaigh a observat două evenimente neobişnuite, studiind distribuţia energiei electronilor emişi în cursul dezintegrării mezonilor μ în plăci fotografice. O particulă cu o masă de ordinul 1000 m_e se dezintegra în repaus, emiţînd cînd o particulă secundară foarte energică, cînd un mezon de aproximativ 6 MeV. O'Ceallaigh a emis ipoteza existenţei unei noi particule, pe care a denumit-o $\varkappa$, care se dezintegrează într-un mezon μ şi în două particule neutre (particula secundară încărcată neavînd o energie constantă). El a sugerat schema de dezintegrare $\varkappa^+ \rightarrow \mu^+ + \pi^{\circ} +$ neutrin, care nu a fost confirmată decît în 1958 de colectivul de la Universitatea din Rochester (S.U.A.)

În cursul aceleiaşi lucrări, Menon şi O'Ceallaigh au observat şi alte evenimente care nu puteau fi interpretate prin scheme de dezintegrare cunoscute. În 1953, ei au afirmat existenţa unei noi particule, $\chi : \chi^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^{\circ}$.

În 1952, colectivul din Manchester a publicat primul exemplu al unui eveniment neobişnuit, denumit cascadă V. Acelaşi clişeu conţinea şi o urmă bifurcată sub forma unui V răsturnat, care părea să dovedească dezintegrarea în zbor a unei particule încărcate într-o particulă secundară încărcată şi o particulă V°. Acest eveniment nu a fost confirmat decît în 1953—54 de colectivele lui Anderson şi Leprince-Ringuet.

---

[9] Cercetările radiaţiilor cosmice precum şi cercetările privind procesele elementare de interacţie dintre particule puternic accelerate (în laborator) au în România o tradiţie de peste două decenii. Printre rezultatele remarcabile reportate în acest domeniu, le menţionăm pe cele obţinute din studiul interacţiei nucleon-nucleon de mare energie, în contextul materiei nucleare, pe cele din studiul distribuţiei impulsului transversal al particulelor secundare, generate în ciocniri hadronice de mare energie, precum şi pe cele obţinute pe baza modelului cu două centre pentru ciocniri nucleon-nucleon, de mare energie (grupul de cercetări condus de prof. Erwin Friedländer). Un alt grup de cercetări se ocupă de probleme specifice în interacţii de mare energie, ca identificarea unor particule stranii, studiul reacţiilor inclusive, studiul corelaţiilor produse în interacţii pion-proton de mare energie etc. *N.I.-P.*

În 1953, diferite colective au observat în emulsiile fotografice şi în camerele Wilson urmele unor particule mult mai grele decît protonul, care se dezintegrau prin emisia unei particule încărcate rapide.

Congresul Internaţional de la Bagnères-de-Bigorre, din 1953, a adus unele clarificări în domeniul notaţiilor şi al ideilor. În urma acestei largi confruntări, s-au deosebit net două grupe printre noile particule instabile: mezonii K, cu masa cuprinsă între masa mezonului π şi cea a protonului, şi hiperonii, cu masa mai mare decît cea a neutronului.

În grupul hiperonilor, vechiul V_1^0 a fost denumit Λ°, particulele descoperite mai recent au fost denumite Σ, iar particula răspunzătoare de cascada V a primit denumirea Ξ (xi). Masele acestora sînt de ordinul a 2200, 2300 şi, respectiv, 2500 m_e.

În grupul mezonilor K situaţia era mai încurcată. Particula V_2^0, observată în camera Wilson, putea fi considerată drept corespondentul neutru al particulei χ, favorită a adepţilor plăcilor fotografice; aceste particule au primit denumirea de θ° şi θ^+. În 1953, Dalitz a prezis un alt mod de dezintegrare a mezonului τ într-un mezon π încărcat şi în doi mezoni π°. Acest mezon τ' a fost descoperit în 1954 la Rochester (S.U.A.). În ciuda unor măsurători repetate şi din ce în ce mai precise, efectuate însă asupra unui număr foarte limitat de evenimente, părea imposibilă determinarea vreunei diferenţe de masă sau de viaţă medie între mezonii θ, τ şi $\varkappa$, care au fost din această cauză presupuşi a reprezenta diferite aspecte ale uneia şi aceleiaşi particule.

Noile particule instabile ridicau însă o problemă gravă în faţa teoreticienilor. Viaţa medie a acestor particule, de ordinul a 10^{-8} s pentru mezonii K încărcaţi şi de 10^{-10} s pentru mezonii K neutri şi pentru hiperoni, părea incompatibilă cu apariţia lor relativ abundentă. Calculele conduceau la o valoare mult mai mică.

Diferiţi teoreticieni, printre care şi Pais, au emis în 1952 ipoteza producerii asociate a noilor particule instabile, ca de exemplu, $\pi + \text{nucleon} \rightarrow \Lambda^\circ + K$.

Dezintegrarea acestor particule contrazicea o anumită regulă de selecţie, încă necunoscută, dar analoagă celor care guvernează tranziţiile atomice. Dezintegrarea era deci o „tranziţie interzisă“, ceea ce ar fi putut explica viaţa sa medie mai lungă. Dimpotrivă, producerea asociată a acestor particule, care permitea ca regula să nu fie contrazisă, era asemănătoare cu o „tranziţie permisă“. Rezultatele experimentale de la Brookhaven au confirmat aceste interpretări.

Gell-Mann şi Nishijima au precizat, independent, schema lui Pais şi au stabilit o clasificare a noilor particule instabile. Gell-Mann a ataşat fiecărei particule un nou număr cuantic, fără semnificaţie fizică aparentă, pe care l-a numit stranietate S.

Particulele obişnuite, adică dubletul proton-neutron (două aspecte ale aceleiaşi particule, nucleonul, care nu se deosebesc decît prin interacţiile lor electromagnetice, dependente de diferenţa lor de masă) şi tripletul π^+, π°, π^- sînt caracterizate printr-o stranietate nulă: $S = 0$. Speculaţii teoretice l-au condus pe Gell-Mann să admită existenţa unui „singlet“ Λ° $(S = -1)$, a unui triplet Σ $(S = -1)$, a unui dublet Ξ $(S = -2)$, şi a două dublete K^+, K° $(S = +1)$ şi K^-, anti-K° $(S = -1)$. Această schemă explica corect fenomenele cunoscute. În cazul producerii particulelor Λ°, K, stranietatea totală este nulă, dar K nu poate fi decît un K^+ sau un K°. K^- trebuie să apară simultan cu un K^+, ceea ce necesită o energie mai mare. În dezintegrarea $\Lambda^\circ \rightarrow p + \pi^\circ$, stranietatea variază cu o unitate, iar regula de conservare a stranietăţii este contrazisă.

Dar această clasificare, ca şi cea a lui Mendeleev de odinioară, a permis şi unele preziceri: particula Σ°, a cărei existenţă a fost bănuită încă din 1954 la Brookhaven, a fost descoperită de Walker în 1955. Ξ° a fost observată abia în 1958 la Berkeley, într-o cameră cu bule cu hidrogen lichid; nu se cunosc pînă acum decît cîteva exemple.

Clasificarea lui Gell-Mann şi Nishijima nu prevedea însă decît existenţa unui singur tip de mezon K, în timp ce diferitele tipuri de dezintegrare se multiplicau neîncetat. Particulele respective au fost notate $K_{\pi_3}(\tau)$, $K_{\pi_2}(\chi)$, $K_{\mu_3}(\varkappa)$. Colectivul din Bristol a descoperit tipul de dezintegrare $K_{\beta_3} \rightarrow$ electron $+ \pi +$ neutrin, în 1954, în emulsii nucleare, iar colectivul de la Şcoala politehnică (Franţa) a pus în evidenţă, în 1955, tipul de dezintegrare $K_{\mu_2} \rightarrow$ mezon μ + neutrin, într-o experienţă în care au fost folosite două camere Wilson suprapuse, la Pic du Midi. Tipurile de dezintegrare ale lui Λ° şi K° în particule neutre au fost observate în 1955—56 la Brookhaven, în cursul unor experienţe efectuate cu contori şi cu camere cu bule. Tipurile de dezintegrare ale mezonilor K negativi, conforme prevederilor rezultate din comportarea mezonilor K pozitivi, au fost puse în evidenţă succesiv între 1953 şi 1957. Devenea tentant să se admită existenţa unui mezon K unic, cu comportări diferite. Singura dificultate, care a deranjat mult timp pe fizicieni, consta în incompatibilitatea aparentă dintre τ şi θ, incompatibilitate rezolvată prin descoperirea, în 1956, a neconservării parităţii în cursul dezintegrărilor.

În diferite laboratoare, fizicienii păstrau totuşi în mapele lor exemple de evenimente anormale. În 1955, Gell-Mann şi Pais au fost conduşi, pe baza unor consideraţii teoretice complicate, să prezică existenţa a doi mezoni neutri, unul de viaţă medie 10^{-10} s, iar altul de viaţă medie mai lungă, care se dezintegrează în trei particule şi sînt deci responsabili de apariţia evenimentelor anormale. Teoria lor considera că mezonii neutri produşi într-o interacţie sînt K° sau $\overline{K}^\circ$ (anti-K°), conform stranietăţii dorite. În cursul dezintegrării nu mai există nici K°, nici $\overline{K}^\circ$, ci numai K_1^0 sau K_2^0, aceste două aspecte ale lui K neutru constituind un „amestec“ de K° şi K° şi (reciproc). Chiar şi pentru particulele stranii, aceasta reprezintă o comportare ciudată, care nu poate fi înţeleasă decît în cadrul teoriei cuantice. Această ipoteză a fost verificată la Brookhaven de fizicienii Universităţii din Columbia. Ei au plasat o cameră Wilson la o anumită distanţă de ţinta-sursă de mezoni neutri (particulele încărcate fiind eliminate cu un electromagnet) astfel încît să nu mai rămînă deloc K_1^0. În aceste condiţii, ei au observat totuşi dezintegrări ale lui K°, dar toate anormale.

Actualmente, studiul particulelor stranii este continuat cu mijloace remarcabile pe lîngă marile acceleratoare.

ANTIPARTICULELE. STRUCTURA NUCLEONILOR. Teoria relativistă a lui Dirac prevede existenţa unei antiparticule corespunzătoare fiecărei particule. O particulă şi antiparticula sa trebuie să aibă aceeaşi masă, acelaşi spin şi valori egale şi de semn contrar ale sarcinii electrice şi momentului magnetic.

Prima verificare a fost efectuată în 1932, odată cu descoperirea electronului pozitiv; era interesant de stabilit dacă teoria lui Dirac era valabilă şi pentru protoni, aşa cum era de aşteptat. Antiprotonul, sau protonul negativ, a fost pro-

Particula	*Masa*	*Modul de dezintegrare*	*Viaţa medie*	*Spinul în unităţi* $\hbar$	*Descoperită în*	
$\mu^{\pm}$	$207\ m_e$	$\mu^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + 2\nu$	$2{,}2 \cdot 10^{-6}$ s	1/2	Camera Wilson Radiaţia cosmică (RC)	1938
$\pi^{\pm}$	$273\ m_e$	$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu$	$2{,}6 \cdot 10^{-8}$ s	0	Emulsii fotografice Radiaţia cosmică (RC)	1947
π^0	$264\ m_e$	$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$	$\sim 10^{-16}$ s	0	Contoare Sincrociclotron (Berkeley)	1949
K încărcat	$967\ m_e$	$K_{\pi_3} \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{+} + \pi^{-}(\tau)$	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$ s	0	Emulsii fotografice Radiaţia cosmică (RC)	1949
		$\rightarrow \pi^{\pm} + \pi^0 + \pi^0(\tau')$			Idem	1954
		$K_{\mu_2} \rightarrow \mu + \nu$			Camera Wilson — RC	1956
		$K_{\pi_2} \rightarrow \pi + \pi^0$			Emulsii — RC	1951
		$K_{\mu_3} \rightarrow \mu + \pi^0 + \nu$			Emulsii — RC	1951
		$K_{e_3} \rightarrow e + \pi^0 + \nu$			Emulsii — RC	1954
K neutru	$974\ m_e$	$K_1^0 \rightarrow \pi^{+} + \pi^{-}$. $\rightarrow \pi^0 + \pi^0$	10^{-10} s	0	Camera Wilson — RC Contoare Cosmotron (Brookhaven)	1951 (V_2^0) 1955
		$K_2^0 \rightarrow 3$ particule $\begin{pmatrix} e + \pi + \nu \\ \mu + \pi + \nu \\ \pi^{+} + \pi^{-} + \pi^0 \end{pmatrix}$	$6 \cdot 10^{-8}$ s	0	Camera Wilson Cosmotron (Brookhaven)	1956
Λ^0	$2183\ m_e$	$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^{-}$ $\rightarrow n + \pi^0$	$2{,}5 \cdot 10^{-10}$ s	1/2	Camera Wilson — RC Camera cu bule Cosmotron (Brookhaven)	1951 (V_1^0) 1956
Σ	$2328\ m_e$	$\Sigma^{+} \rightarrow p + \pi^0$ $\rightarrow n + \pi^{+}$	$\sim 10^{-10}$ s		Camera Wilson Emulsii fotografice Radiaţia cosmică	1953
	$2341\ m_e$	$\Sigma^{-} \rightarrow n + \pi^{-}$	$1{,}6 \cdot 10^{-10}$ s	1/2	Camera de difuzie Cosmotron Emulsii — RC	1954
	$2332\ m_e$	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$	$< 10^{-11}$ s		Camera de difuzie Cosmotron	1955
Ξ	$2585\ m_e$	$\Xi^{-} \rightarrow \Lambda^0 + \pi^{-}$	$\sim 10^{-10}$ s	1/2	Camera Wilson Radiaţia cosmică	1952
	$2570\ m_e$	$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$	$\sim 10^{-10}$ s	1/2	Camera cu bule Bevatron (Berkeley)	1958
Ω^{-}	$3279\ m_e$	$\Omega^{-} \rightarrow \Xi + \pi$ $\rightarrow \Lambda^0 + K^{-}$	$\sim 1{,}3 \cdot 10^{-10}$ s	3/2		

Observaţie. Există şi unele moduri rare de dezintegrare a hiperonilor în trei particule, dintre care una este un electron sau un miuon, iar alta este un neutrino.

FIG. 19. TABELUL PRINCIPALELOR PARTICULE ELEMENTARE.

babil întrevăzut de mai multe ori în studiul radiaţiei cosmice, dar fără certitudine. Abia în 1955, la un an după intrarea în funcţiune a bevatronului de la Berkeley, a fost pusă în evidenţă existenţa antiprotonului de către Segré, Chamberlain şi colaboratorii lor.

Efectuarea experienţei a fost pe atunci dificilă: nu apăreau decît unul sau doi antiprotoni la un milion de particule parazite. Actualmente însă, separatori speciali permit obţinerea unor fascicule aproape pure de antiprotoni. Doar patru acceleratoare din lume sînt capabile să producă antiparticule: bevatronul de la Berkeley (S.U.A.), fazotronul de la Dubna (U.R.S.S.) şi sincrotroanele uriaşe de la Brookhaven şi Geneva (CERN).

Protonul şi antiprotonul apar sub formă de perechi în cursul interacţiilor la energii foarte înalte. Un nucleon anihilează antiprotonul în repaus, iar energia corespunzătoare masei lor apare sub formă de mezoni π şi K. Un antiproton poate neutraliza în zbor sarcina unui proton, transformîndu-se într-un antineutron; în acest mod a fost pus în evidenţă antineutronul de către Piccioni în 1956, tot la Berkeley.

Descoperirea altor antiparticule s-a efectuat apoi fără surprize. Teoria lui Dirac fiind bine verificată, se ştia ce se caută. În ultimii ani, au fost descoperite, succesiv, particula anti-Λ° la Berkeley, descoperită în emulsii fotografice, anti-Σ^+, observată la Roma în plăcile expuse la bevatron, anti-Σ^- la Dubna, într-o cameră cu bule, anti-Σ° la Berkeley şi anti-Ξ^- la CERN şi la Brookhaven. Marile acceleratoare de la Brookhaven şi Geneva vor permite, în continuare, efectuarea unui studiu foarte complet al proprietăţilor antiparticulelor.

Un alt capitol important al fizicii energiilor înalte se referă la problema fundamentală a structurii nucleonilor. În calcule, nucleonii sînt consideraţi drept particule punctiforme, care posedă un moment cinetic propriu, sau spin, dar care nu constituie evident decît o simplificare. Faptul că neutronul, care este lipsit de sarcină, este înzestrat cu un moment magnetic, dovedeşte că el nu poate fi redus la un punct geometric.

Din punct de vedere al forţelor nucleare, un nucleon nu exercită acţiunea sa decît dincolo de o anumită distanţă care poate fi definită ca raza sa. Dar distribuţia sarcinii sale trebuie şi ea explorată cu ajutorul unui proiectil lipsit de interacţie nucleară. Acesta este cazul electronului, care însă nu poate fi utilizat decît dacă lungimea sa de undă asociată este mai mică decît „dimensiunile“ nucleonului, deci dacă posedă o energie mai mare de cîteva sute de MeV. Împrăştierea teoretică a unui electron de către o sarcină punctiformă este comparată, în acest caz, cu împrăştierea măsurată, de unde se deduce „factorul de formă“, adică distribuţia sarcinii.

Astfel de experienţe au fost efectuate timp de mai mulţi ani de colectivul lui R. Hofstadter, care folosea electronii de mare energie furnizaţi de acceleratorul linear de la Standford. Aceste experienţe au necesitat utilizarea unor spectrometre care permiteau analizarea electronilor la energii atît de înalte. Ele indică o „rază electrică“ medie a nucleonului mai mică decît raza sa nucleară.

Aceste rezultate au fost interpretate admiţîndu-se că protonul sau neutronul se disociază într-un nucleon „gol“ şi un nor de mezoni π (într-o groapă de potenţial din care nu pot ieşi în absenţa interacţiei).

Aceste studii sînt continuate şi vor permite, fără îndoială, într-o zi, precizarea cunoştinţelor noastre asupra naturii particulelor elementare.

F. INTERACŢIILE ELEMENTARE. FORŢELE NUCLEARE

EXISTENŢA FOTONILOR. EFECTUL FOTOELECTRIC ŞI EFECTUL COMPTON. Este cunoscut rolul fundamental pe care l-a jucat efectul fotoelectric în descoperirea neaşteptată a caracterului corpuscular al luminii, de către Einstein, în 1905[10].

Studiind legea acestui efect în cazul unui metal, se observă că emisia fotoelectrică începe la o frecvenţă de prag ν_s a radiaţiei luminoase, caracteristică fiecărui metal; dacă frecvenţa ν a radiaţiei luminoase incidente depăşeşte ν_s, energia cinetică a electronilor emişi este proporţională cu diferenţa $\nu - \nu_s$, factorul de proporţionalitate fiind constanta h a lui Planck. Einstein a explicat legea efectului fotoelectric prin prezenţa permanentă în radiaţii a unor cuante de lumină, care sînt absorbite de electronii „liberi“ ai metalului iradiat; aceşti electroni au energia $h\nu$ şi, dacă această valoare depăşeşte energia de extragere E_s, ei vor putea fi emişi cu o energie $E = h\nu - E_s = h(\nu - \nu_s)$.

Absorbţia instantanee a unei cuante de către un electron implică faptul că această cuantă este, în momentul absorbţiei, la fel de bine localizată în spaţiu ca şi electronul, ceea ce a condus pe Einstein să introducă noţiunea de corpusculi de lumină sau *fotoni*. Această noţiune a fost confirmată într-un mod strălucit prin descoperirea efectului Compton în 1923, de H.A. Compton. Acest efect reprezintă o împrăştiere a radiaţiilor X, însoţită de o schimbare a frecvenţei, observată iniţial la materiale împrăştietoare cu greutate atomică mică (grafit, parafină), prin determinarea frecvenţelor prin metoda difracţiei cristaline a radiaţiei X. Schimbarea de frecvenţă măsurată (sau deplasarea lungimii de undă $\Delta\lambda$) depinde de unghiul θ al împrăştierii.

Compton şi Debye au elaborat teoria acestui fenomen, admiţînd prezenţa în fasciculul incident a unor fotoni X cu o energie $h\nu$ şi cu o cantitate de mişcare (sau impuls) $h\nu/c = h/\lambda$, unde $\nu = c/\lambda$ este frecvenţa corespunzătoare lungimii de undă λ, iar c viteza luminii în vid. Această relaţie dintre energie şi impuls este impusă de teoria relativităţii pentru un corpuscul de viteză c, adică cu masă de repaus nulă. Aceşti fizicieni au admis că putea să aibă loc o ciocnire între unul dintre aceşti fotoni şi un electron liber aproape în repaus (slab legat) în materialul împrăştietor; electronul este proiectat cu o anumită viteză, într-o direcţie care face unghiul φ cu direcţia fotonului incident, în timp ce acesta este deviat după unghiul θ şi pierde o parte din energia sa (deci din frecvenţa sa) în funcţie de unghiul θ (fig. 20). Pentru a obţine deplasarea $\Delta\lambda$ observată, ca şi unghiul φ şi viteza electronului, în funcţie de θ, este suficient să se scrie ecuaţia de conservare a energiei şi impulsului total în cursul ciocnirii.

---

[10] În această problemă, vezi şi articolele lui L. de Broglie (p. 143) şi P. Marzin şi G. Le Mézec (p. 265).

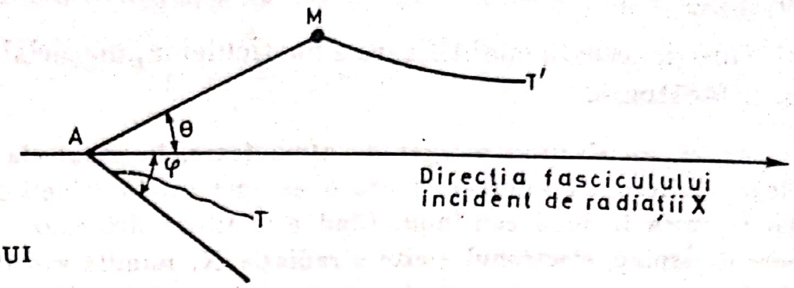


FIG. 20. PRINCIPIUL EFECTULUI COMPTON.

În anumite cazuri, se pot observa electronii emişi din materialul împrăştietor; Compton şi Simon au putut observa direct acest fenomen cu ajutorul unei camere Wilson, verificînd astfel relaţia calculată dintre unghiurile θ şi φ.

CÎMPUL ELECTROMAGNETIC CUANTIFICAT. Pentru a explica existenţa cuantelor de lumină este suficient adesea să se admită, aşa cum a făcut Planck, că particulele „materiale" încărcate au energia cuantificată.

Acest principiu a fost folosit de Niels Bohr în 1913, pentru a explica emisia radiaţiilor atomice de către electroni; el a formulat şi condiţiile de cuantificare[11]. Această teorie cuantică veche a fost înlocuită, prin 1925, de mecanica cuantică sau ondulatorie, datorată lucrărilor lui L. de Broglie şi E. Schrödinger şi ale lui Heisenberg. L. de Broglie a considerat că unei particule trebuie să-i fie asociată totdeauna o undă şi a postulat valabilitatea universală a relaţiilor $E = h\nu$ şi $p = h/\lambda$ dintre mărimile mecanice ale particulei (energia E şi impulsul p) şi mărimile cinematice ale undei.

Schrödinger a stabilit ecuaţia de propagare care trebuie să fie satisfăcută de funcţia de undă cînd particula „nerelativistă" este supusă unor forţe date. Această „funcţie de undă" nu are o semnificaţie fizică directă[12], ci o semnificaţie probabilistă, dată de Max Born, care corespunde imposibilităţii de a defini o traiectorie a particulei la scară microscopică — cu alte cuvinte, relaţiile de incertitudine ale lui Heisenberg.

Condiţiile impuse funcţiei de undă conduc la cuantificarea energiei, în cazul în care particulele formează un sistem legat (ca de exemplu electronii şi nucleul în atom). Inspirîndu-se din principiul de corespondenţă enunţat de N. Bohr, Schrödinger a putut trata, pe de altă parte, problema radiaţiei în cursul unei tranziţii.

[11] Vezi şi studiul lui L. de Broglie (pp. 144—146).

[12] Anumiţi teoreticieni, printre care şi L. de Broglie, au încercat recent să ia în considerare la scară „submicroscopică" atît o undă fizică, cît şi o localizare precisă a particulelor corespunzătoare, dar acest punct de vedere, care se loveşte de multe dificultăţi, rămîne imposibil de confruntat cu realitatea.

El i-a asociat mărimi electrice clasice oscilante, pe care le-a exprimat cu ajutorul funcţiilor de undă ale stărilor iniţială (E_1) şi finală (E_2); aceste mărimi sînt introduse în ecuaţiile clasice ale lui Maxwell pentru cîmpul electromagnetic obţinîndu-se nu numai frecvenţa radiaţiei emise, ci şi intensitatea şi polarizarea radiaţiei.

Totuşi, această cuantificare a particulelor „materiale" singure nu este pe deplin satisfăcătoare.

Astfel, un electron nelegat de atom (care, în cazul clasic, ar fi avut o viteză superioară „vitezei de eliberare") are o energie totală (cinetică + potenţială) pozitivă, care poate varia în mod continuu. Cînd este frînat din cauza prezenţei unor forţe electrice care îl resping, electronul emite o radiaţie X, numită radiaţie de frînare, al cărei spectru de frecvenţe este continuu. În acest mod se obţin radiaţiile X în tuburi, prin frînarea electronilor catodici pe anticatod, sau la betatroane, prin frînarea lor pe o ţintă. În aceste radiaţii există fotoni de toate energiile $h\nu$, capabile să producă un efect fotoelectric sau Compton.

Prin 1928, Dirac, Jordan, Wigner, Heisenberg şi Pauli au abordat de asemenea cuantificarea cîmpului electromagnetic.

În acelaşi mod în care se trece de la mecanica clasică la mecanica cuantică, asociind fiecărei mărimi clasice un „operator" care acţionează asupra funcţiei de undă, ei au considerat cîmpurile drept operatori ce acţionează asupra unei „stări" caracterizate printr-un anumit număr de fotoni de fiecare frecvenţă. Cîmpului de frecvenţe ν îi corespunde astfel un operator care anihilează fotonul de această frecvenţă; acestui *operator de absorbţie* îi este asociat un *operator de emisie*. În absenţa unei particule încărcate, evoluţia unei stări este furnizată de un produs al acestor operatori: energia şi impulsul rămîn constante. Din algebra operatorilor luaţi în considerare (relaţiile de comutare) rezultă că această energie şi acest impuls sînt cuantificate în cuante $h\nu$ şi, respectiv, h/λ. Dimpotrivă, dacă există o tranziţie a unei particule încărcate, nu apare decît un operator de emisie (sau de absorbţie): un foton este emis sau absorbit şi acest proces se poate repeta. Probabilitatea acestui proces este proporţională cu pătratul sarcinii elementare e a particulei (electron, proton etc.), sau, mai precis, cu constanta adimensională $(2\pi e^2)/hc = 1/137$ (constanta de structură fină); probabilitatea proceselor duble este mult mai mică, fiind proporţională cu $(1/137)^2$ etc. Aceste considerente permit tratarea problemei cuantice a cuplajului cîmpului cu particula încărcată printr-o metodă perturbaţională.

În acest mod, a fost elaborată o teorie care ţine seamă de existenţa fotonilor şi care permite culcularea cu precizie a probabilităţilor de emisie şi de absorbţie, precum şi a tuturor caracteristicilor „clasice" ale radiaţiei (polarizare etc.), deoarece operatorii de cîmp satisfac ecuaţiile cîmpurilor clasice.

Dar acestea au şi rolul de a explica propagarea cu viteză finită a interacţiei dintre două particule încărcate, viteză finită cerută de teoria relativităţii. Din punct de vedere clasic, un cîmp neradiant (care nu transportă energie la mare distanţă, spre deosebire de cîmpul oscilant al radiaţiei electromagnetice) este emis de una dintre particule şi acţionează asupra celeilalte după un timp egal cu durata propagării. În teoria cuantică, acestui cîmp neradiant îi corespunde un foton „virtual“ neobservabil, schimbat între cele două particule şi care transferă impuls de la una la cealaltă, astfel încît particulele sînt împrăştiate. Acest proces este reprezentat printr-o *diagramă Feynman* (fig. 21) care reprezintă doar legătura dintre diversele particule (dar nu şi traiectoriile, care nu sînt definite). În acest caz se înţelege cum poate fi transpusă această teorie „electrodinamică cuantică“ la toate interacţiile dintre particulele „materiale“. Oricărei interacţii îi corespunde un cîmp clasic care o propagă şi, deci, prin cuantificare, îi corespunde o particulă determinată.

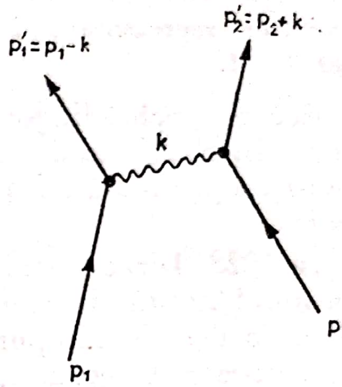


FIG. 21. DIAGRAMĂ FEYNMAN

p_1 şi p_2 reprezintă impulsurile iniţiale ale celor doi electroni; p_1' şi p_2' sînt impulsurile finale, după schimbul de fotoni virtuali cu impuls k.

TEORIA LUI DIRAC A ELECTRONULUI ŞI POZITRONULUI. Se vede astfel că noţiunile de „cîmp“, pe de o parte, şi de „particule materiale“, pe de alta, nu se mai deosebesc atît de net. Dar, prin 1927, se considera că în cursul unor procese fizice pot fi create sau distruse doar „particulele de cîmp“ (fotonul, de exemplu).

În realitate, există şi o altă diferenţă foarte importantă între aceste două categorii de particule. Particulele de cîmp, numite *bosoni*, ascultă de *statistica Bose;* ele sînt *indiscernabile*, aşa cum este de aşteptat pentru particule identice a căror mişcare nu poate fi urmărită la scară microscopică; dintre ele poate exista, într-o stare dată, un număr oarecare de particule (de exemplu, fotoni de aceeaşi frecvenţă şi direcţie de propagare).

Dimpotrivă, „particulele materiale“ (*fermionii*: electroni, protoni sau neutroni) ascultă de *statistica Fermi;* ele sînt *indiscernabile*, dar nu pot exista mai mult de una într-o stare dată, ceea ce explică de ce nu li se poate măsura cîmpul microscopic corespunzător.

Aceste diferenţe sînt legate de *spin*, care caracterizează momentul cinetic propriu al acestor particule.

Se consideră că spinul fotonului este 1 în cazul în care ca unitate se ia $h/2\pi$: valoarea proiecţiei acestui vector pe o axă de cuantificare Oz poate fi -1, 0 sau 1, în aceleaşi unităţi (maximum 1); aceasta corespunde unei funcţii de undă asociată vectorială (cîmp electric cu 3 componente).

În cazul electronului, spinul este 1/2: valoarea proiecţiei este de —1/2 sau +1/2 (maximum 1/2); aceasta corespunde unei funcţii de undă asociată *spinorială* cu două componente[13].

În timp ce particulele cu spin întreg (sau nul) sînt totdeauna bosoni, cele cu spin 1/2 sînt totdeauna fermioni. Trebuie remarcat că pentru a aplica *principiul de excluziune* (enunţat în legătură cu aceste particule de Pauli, 1926) trebuie considerate ca distincte stările care nu diferă decît prin proiecţia spinului (—1/2 sau +1/2). Toate particulele considerate „permanente" au spinul 1/2 (electron, proton etc.). Pentru bosoni (particule reprezentate doar de foton) singurele valori întregi cunoscute ale spinului sînt 0 şi 1.

Ecuaţia Schrödinger se aplica la particule lipsite de spin (spin 0), nerelativiste. În 1926, Pauli a arătat forma pe care trebuie să o aibă ecuaţia de undă pentru o particulă cu spin 1/2 nerelativistă, plasată într-un cîmp electromagnetic.

În 1928, Dirac a stabilit ecuaţia de propagare pentru o particulă relativistă cu spin 1/2; funcţia de undă corespunzătoare are în mod obligator 4 componente. Ecuaţia descrie comportarea electronului într-un cîmp electromagnetic fără a introduce vreo constantă nouă (spre deosebire de ecuaţia lui Pauli).

În cazul lui Pauli, cele 2 componente pot fi asociate celor 2 stări de spin posibile. În cazul lui Dirac, multiplicarea cu 2 a numărului de componente poate fi asociată faptului că energia unui electron liber (masa de repaus + masa cinetică) poate fi alea să pozitivă sau negativă. O astfel de stare de masă negativă nu are, evident, nici un sens fizic, dar ea poate fi reinterpretată în cadrul unei teorii a cîmpului cuantic al electronului, adică al unei teorii care conţine posibilitatea ca electronii să fie creaţi sau distruşi.

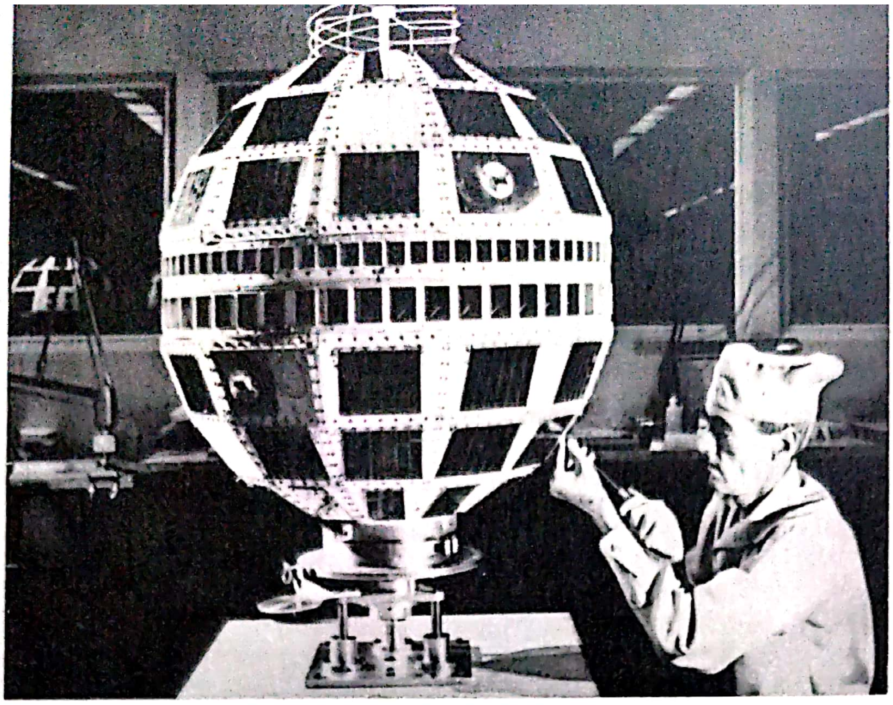
Distrugerea unui electron cu energie negativă este interpretată în acest caz ca emisia unei particule cu energie pozitivă, ale cărei caracteristici nealgebrice sînt în întregime cele ale electronului, în timp ce toate caracteristicile algebrice au semnul schimbat (sarcină, impuls, spin, moment magnetic etc.) Această particulă cu sarcină pozitivă este *pozitronul*. Crearea unui electron cu energie negativă este interpretată, dimpotrivă, ca distrugerea unui pozitron. Acest pozitron, care reprezintă antiparticula electronului, a fost descoperit efectiv de Anderson (1932) în radiaţia cosmică.

Dacă ne referim iar la diagrama Feynman (fig. 21), se observă că electronul 1 ar putea trece într-o „stare de energie negativă" prin emiterea fotonului k, ceea ce se poate reprezenta printr-o nouă diagramă (fig. 22) (particulele de energie pozitivă se deplasează în sus, iar cele de „energie negativă" în jos). Această diagramă trebuie să fie reinterpretată astfel: electronul p_1 şi un pozitron de impuls opus lui, p_1', *se anihilează* în A, producînd fotonul k; acesta acţionează în B asupra electronului p_2. Cînd fotonul

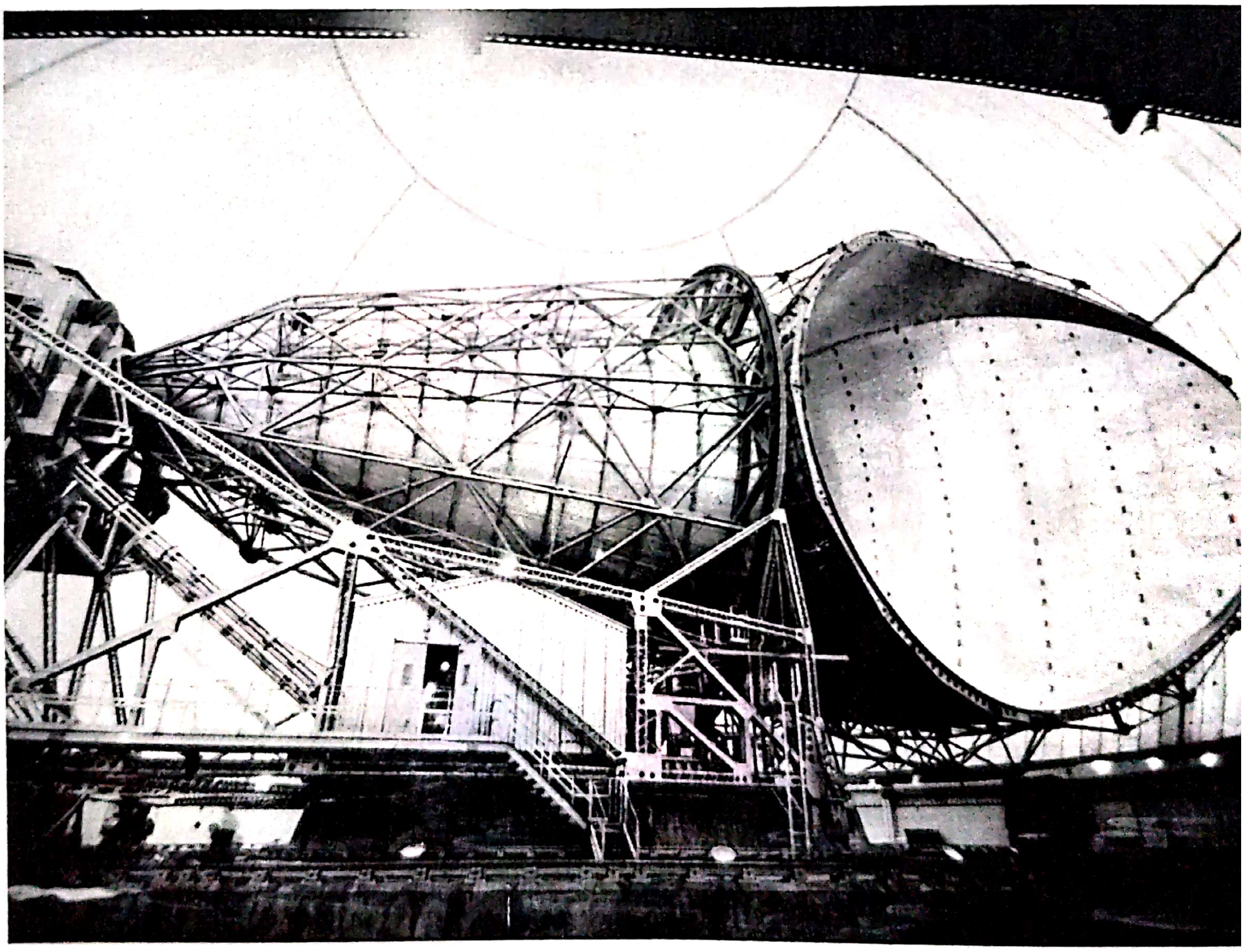
---

[13] Nu este posibilă o reprezentare geometrică a acestui „spinor", dar relaţiile care leagă componentele sale din două sisteme de axe diferite sînt mai simple decît în cazul unui vector. Funcţia de undă însăşi nu are semnificaţie fizică, în special dacă nu există un cîmp macroscopic asociat măsurabil.

1

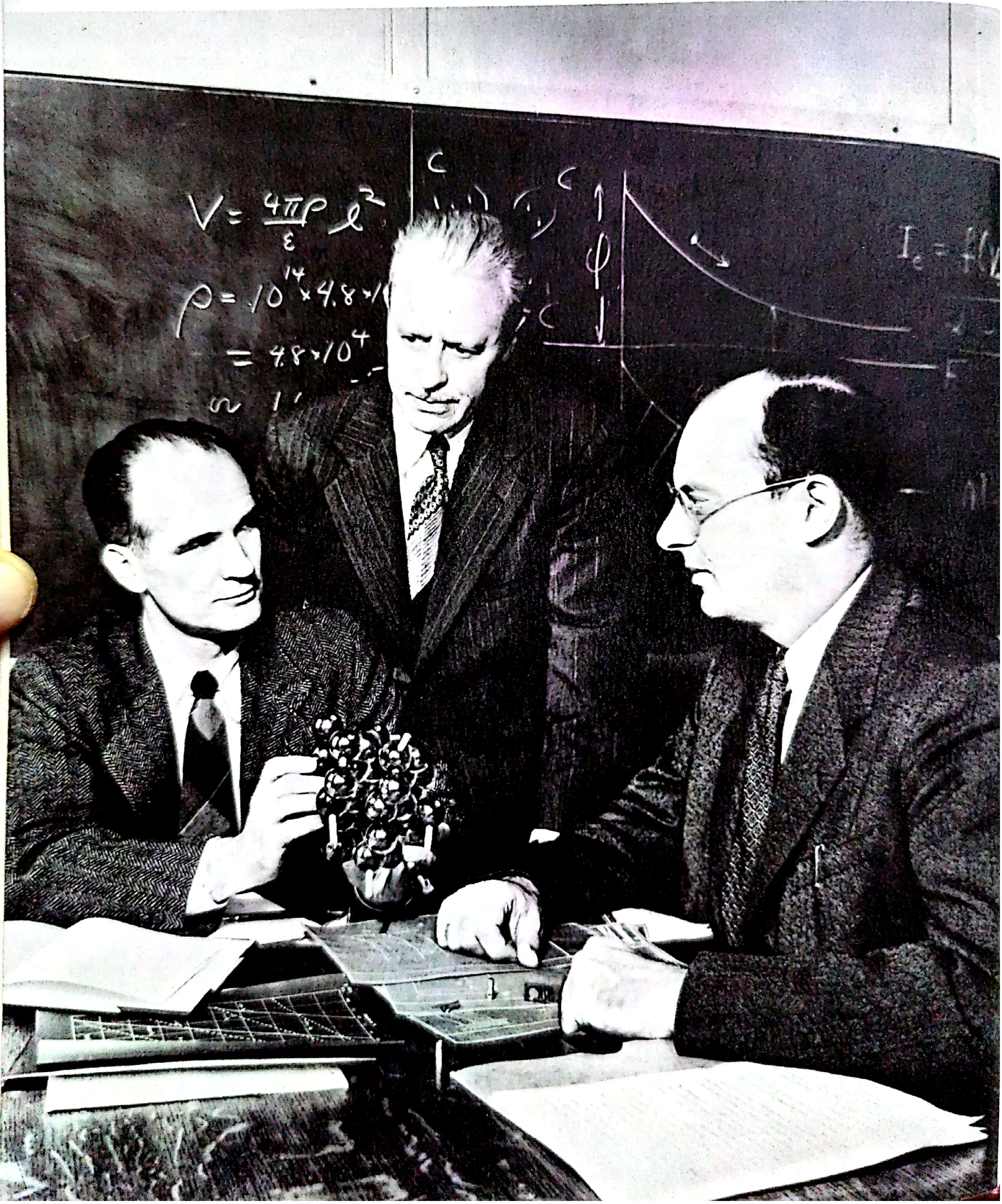


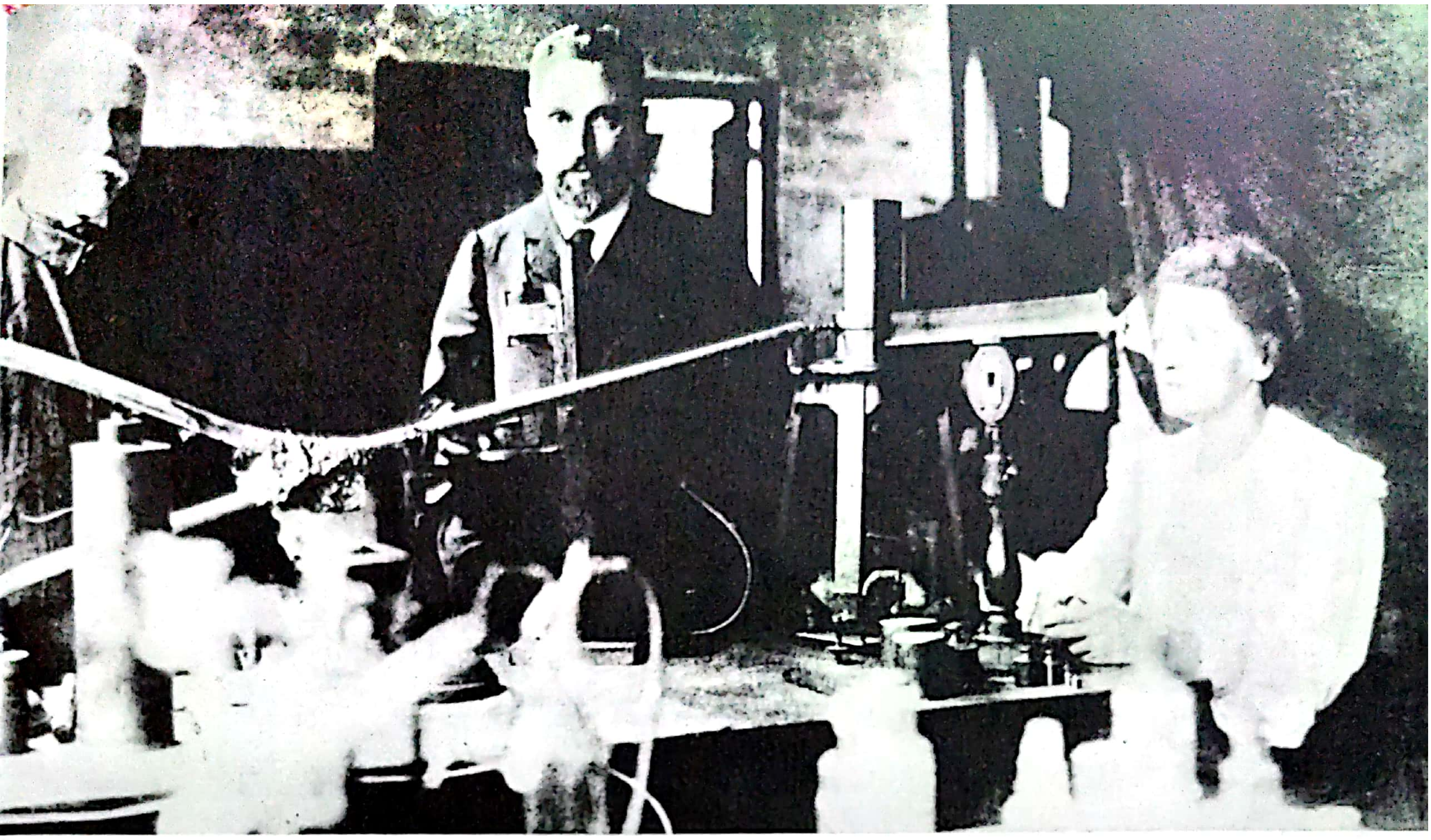
2



17. SATELITUL «TELSTAR» ȘI STAȚIA RECEPTOARE DE LA PLEUMEUR-BODOU

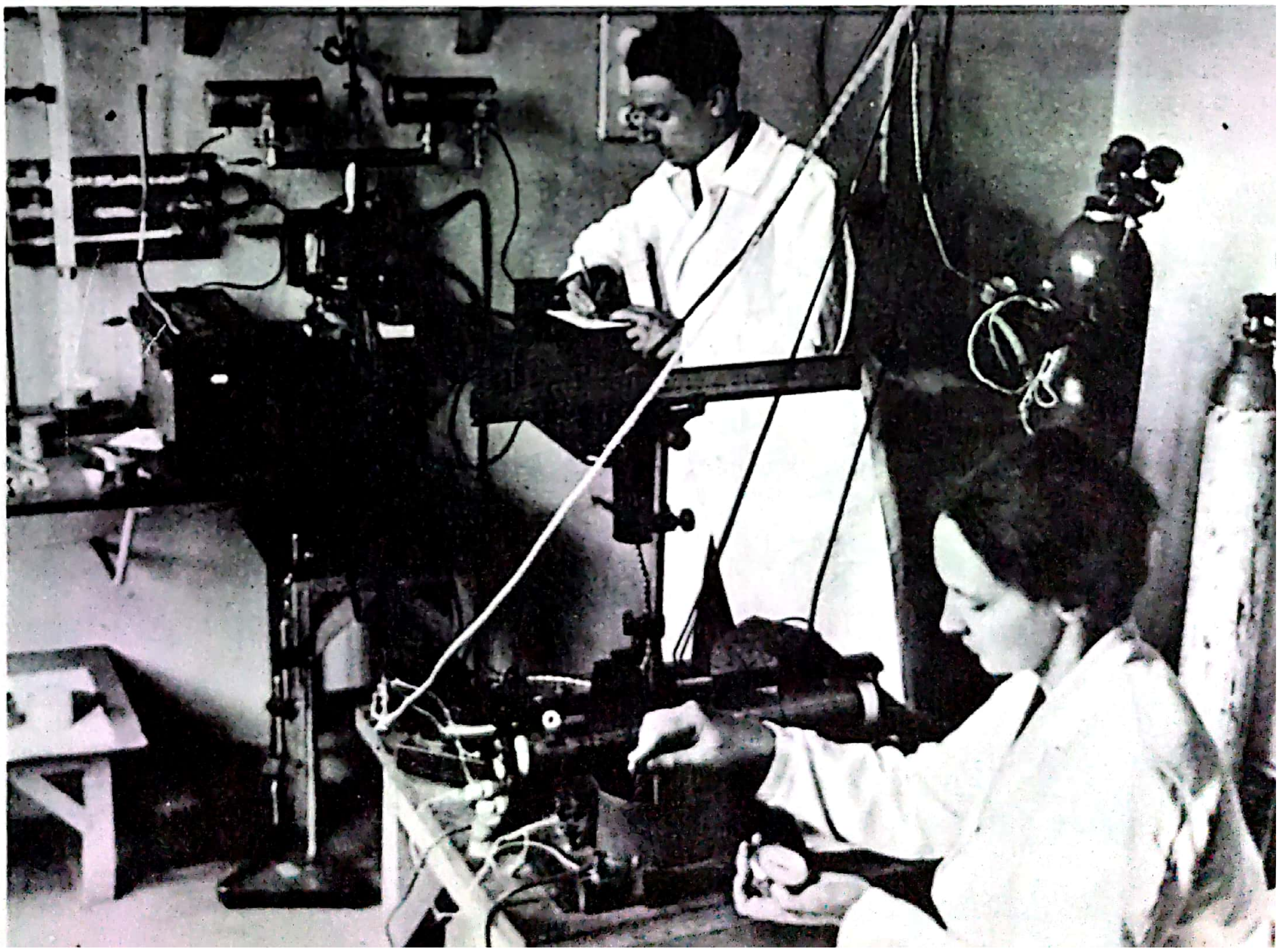
18. INVENTATORII TRANZISTORULUI:
W. SHOCKLEY, W. H. BRATTAIN ŞI J. BARDEEN


V = 4πρ l² / ε
ρ = 10¹⁴ × 4.8 × 1
= 4.8 × 10⁴
φ

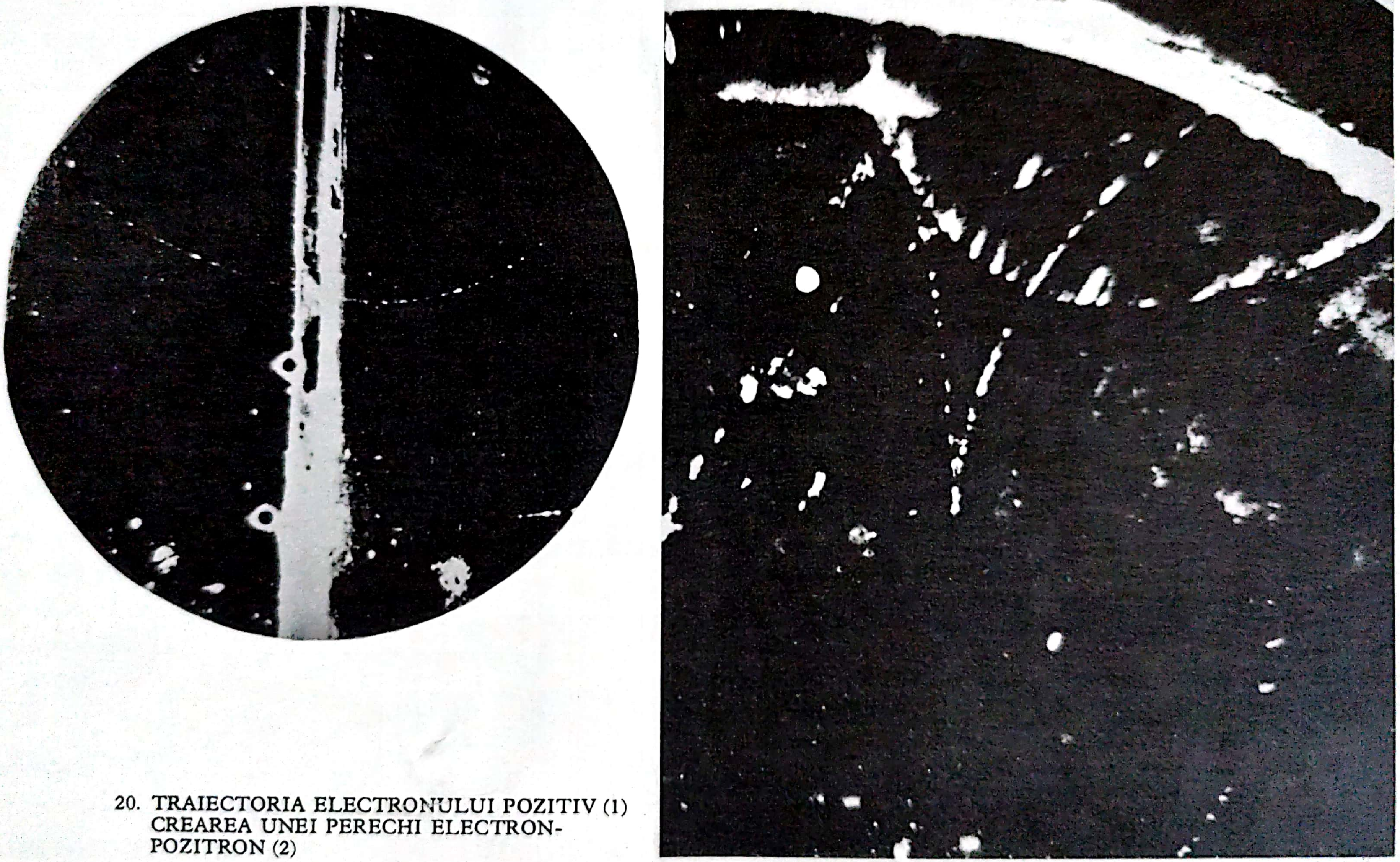


1

19. PIERRE ŞI MARIE CURIE.
IRÈNE CURIE ŞI FRÉDÉRIC JOLIOT



2

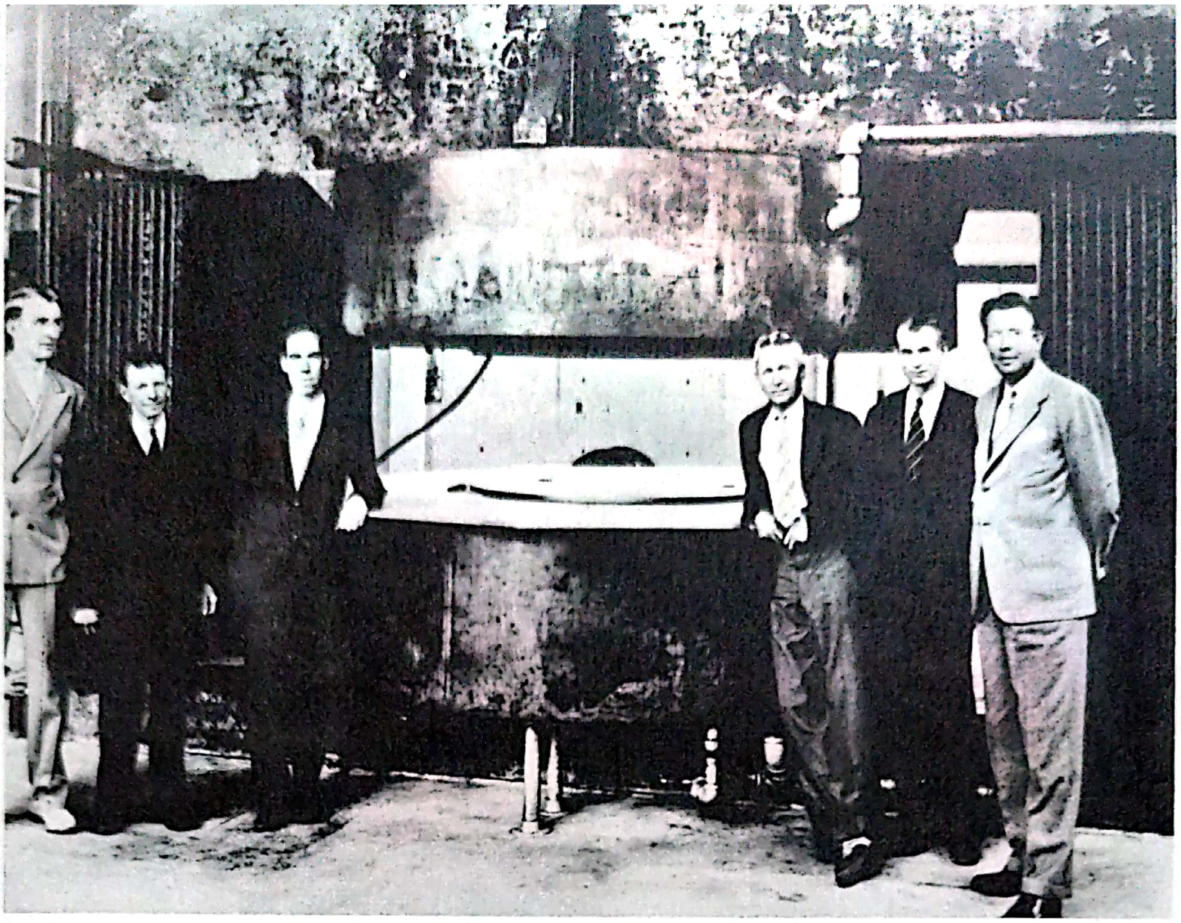


1

2

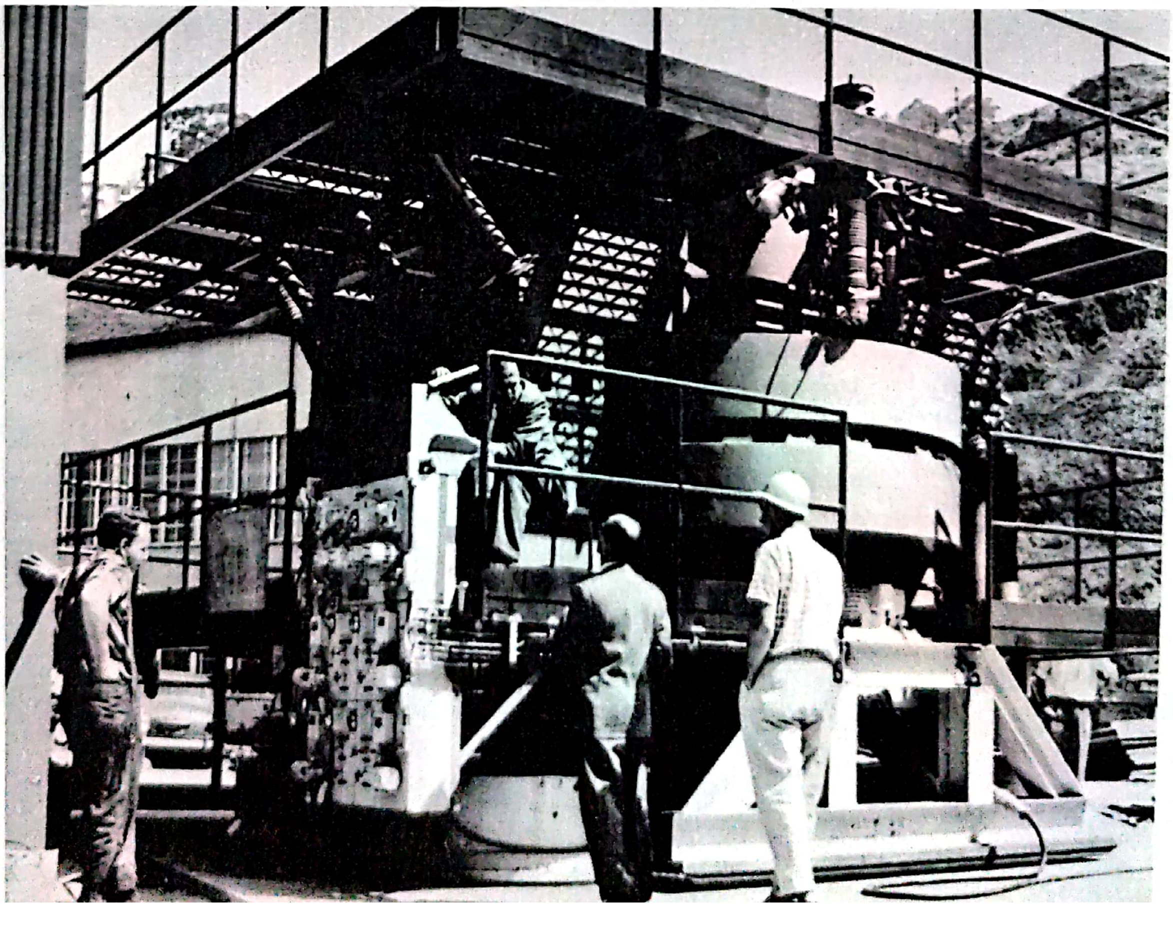
20. TRAIECTORIA ELECTRONULUI POZITIV (1) CREAREA UNEI PERECHI ELECTRON-POZITRON (2)

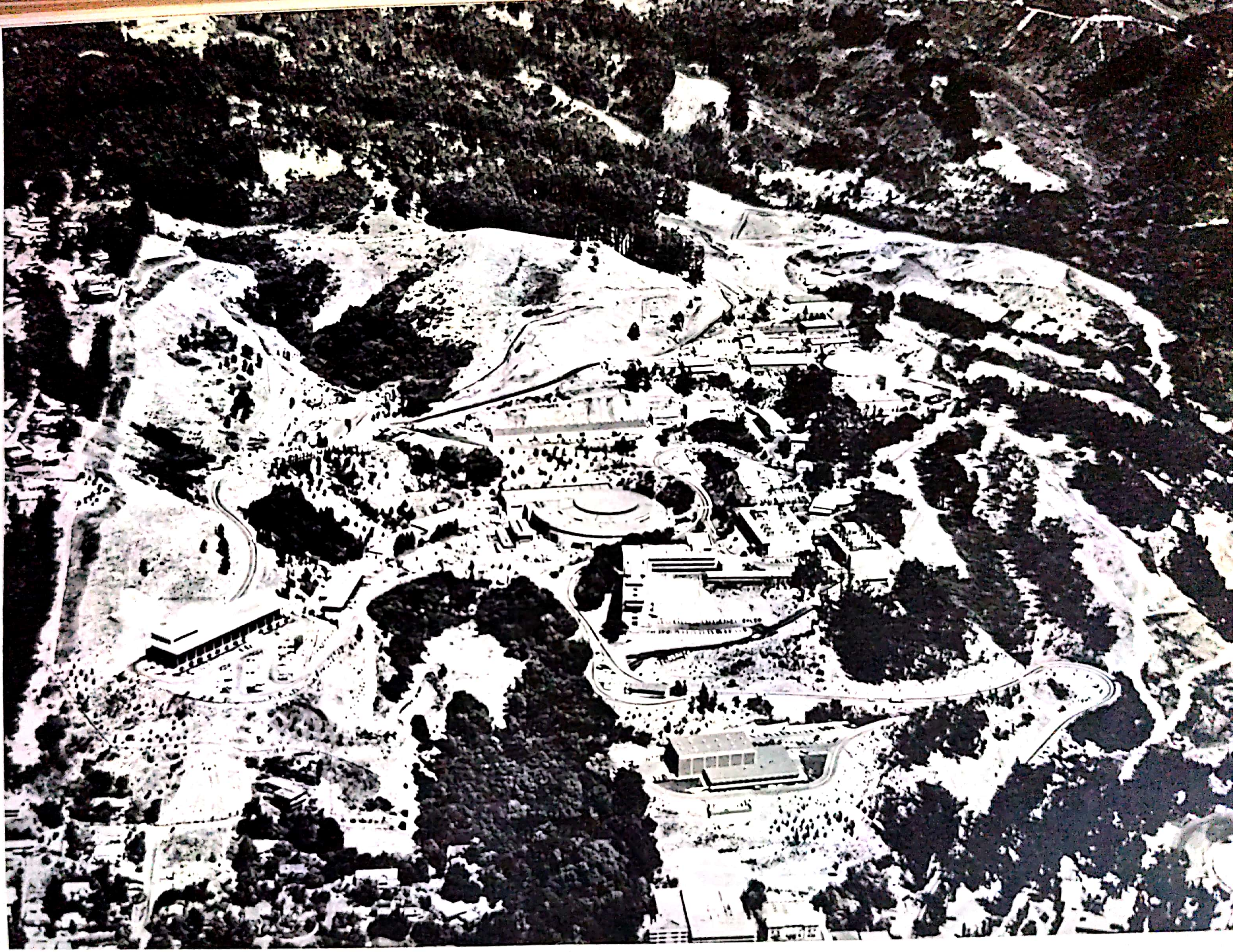
1



21. 1. CICLOTRONUL LUI E. O. LAWRENCE, ÎN CURS DE CONSTRUCȚIE.
2. CAMERA CU BULE DE LA BERKELEY

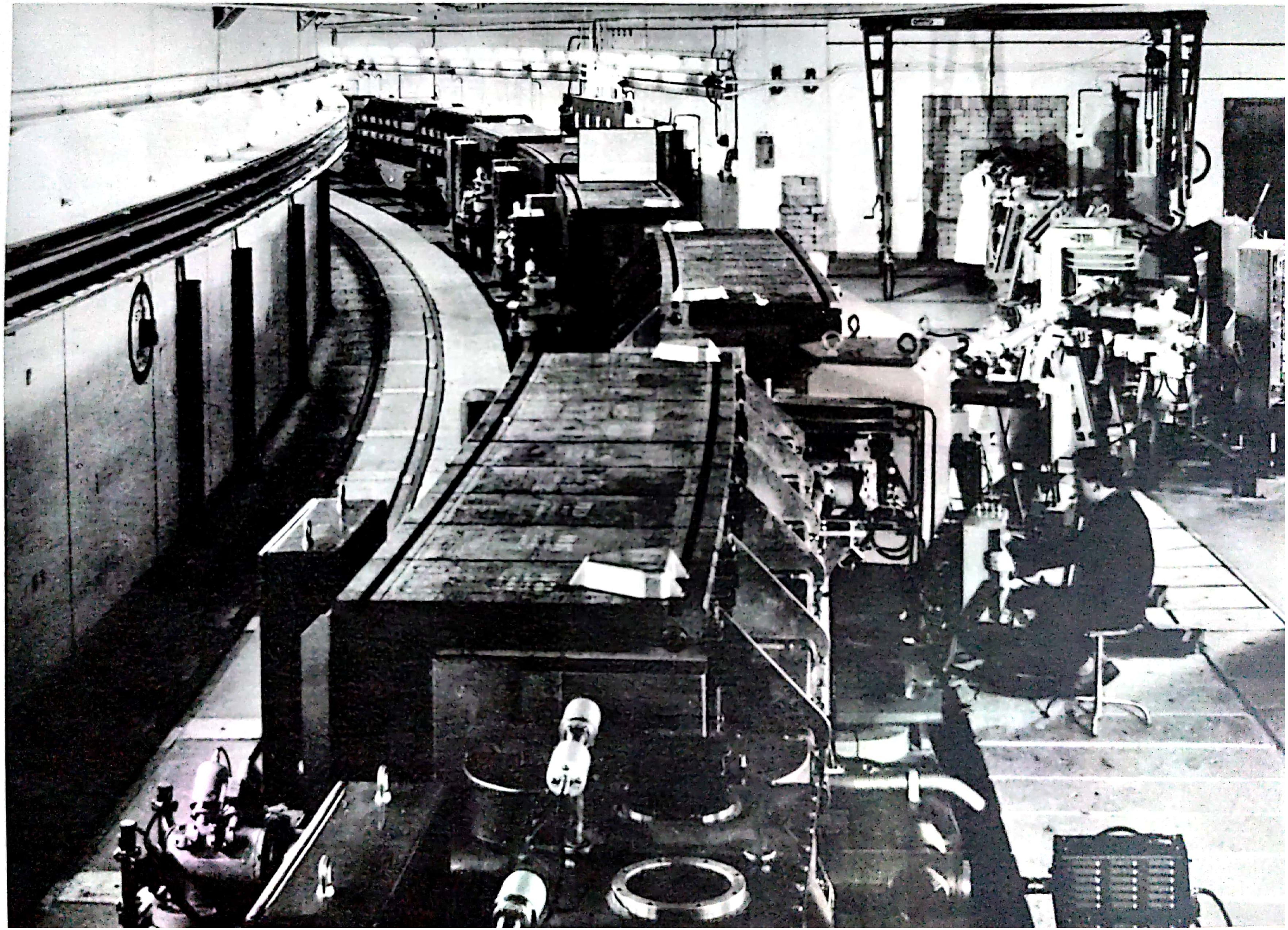
2

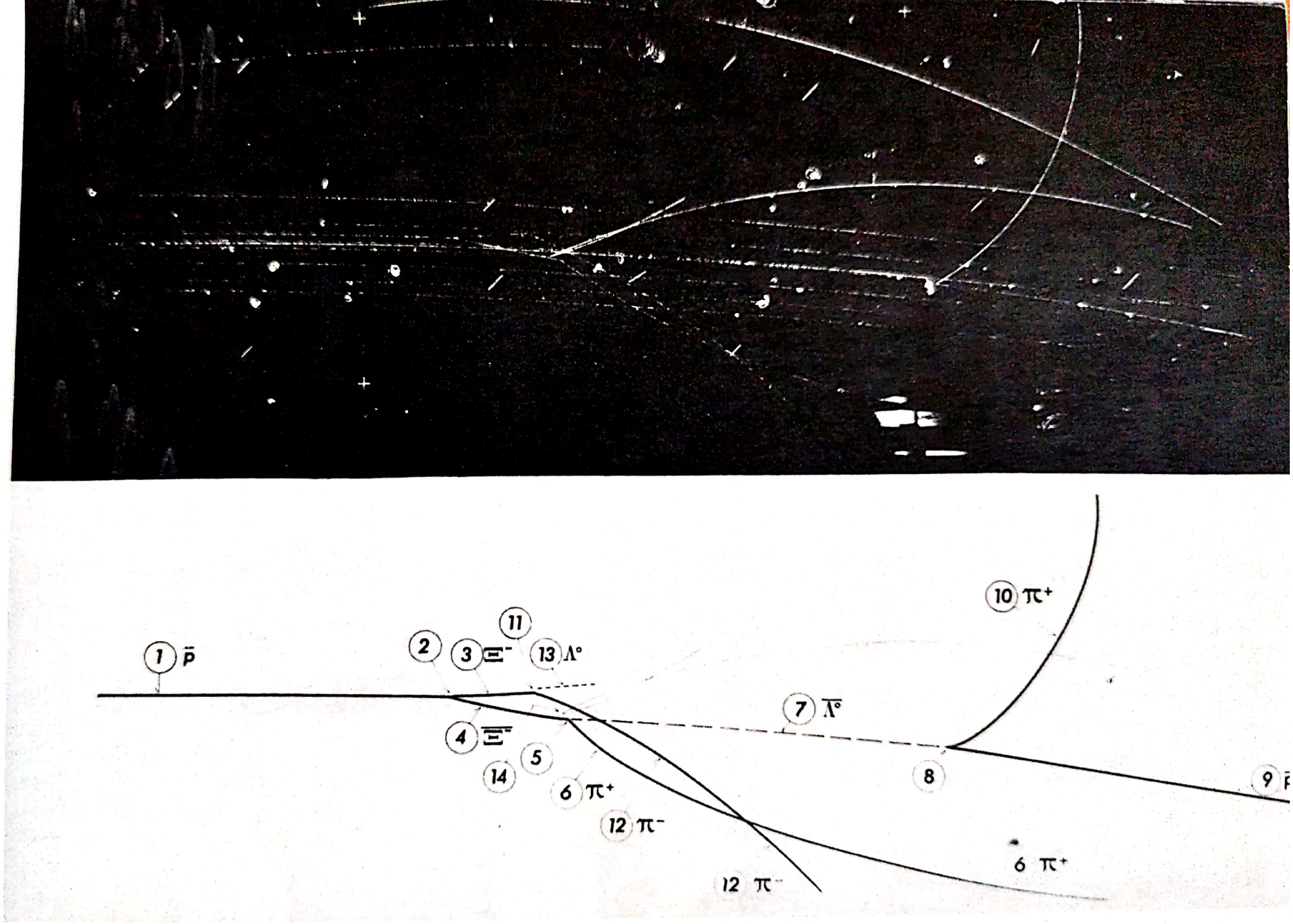




22. VEDERE GENERALĂ A LUI *LAWRENCE RADIATION LABORATORY* (BERKELEY)

23. SINCROTRONUL CU PROTONI DE LA C.E.R.N.





1 $\bar{p}$
2
3 $\bar{\Xi}^-$
11
13 Λ^0
4 $\bar{\Xi}^-$
5
14
6 π^+
12 π^-
7 $\bar{\Lambda}^0$
8
10 π^+
9
6 π^+
12 π^-

24. PRODUCEREA UNEI PARTICULE «ANTICASCADĂ» (ANTIPARTICULA – Ξ^-)

este „real“ (observabil), energia sa trebuie să fie cel puţin egală cu suma energiilor de repaus ale particulelor distruse: $2mc^2$ (unde m este masa de repaus a electronului sau a pozitronului), adică 1,02 MeV.

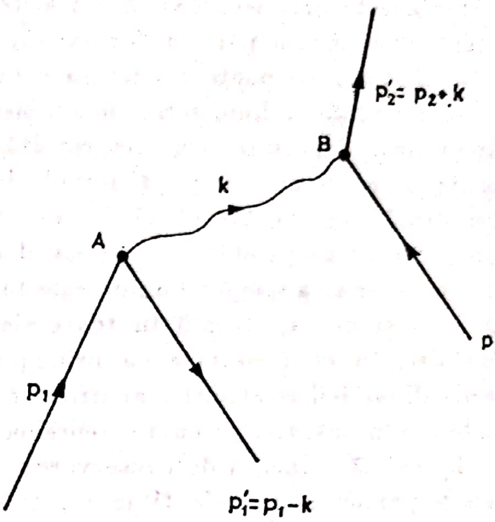


FIG. 22. DIAGRAMA FEYNMAN ÎN CAZUL UNUI PROCES DE ANIHILARE.

Procesul de *anihilare* a fost observat pentru prima dată, în 1933, de F. Joliot şi J. Thibaud. El este însoţit cel mai des de emisia a doi fotoni de energie mc^2, ceea ce asigură conservarea energiei şi a impulsului, chiar fără reculul nucleului de care electronul ar fi fost legat. Dimpotrivă, un foton cu energie mai mare de $2mc^2$ care trece pe lîngă un nucleu poate *genera o pereche* electron-pozitron: acesta este procesul de *materializare* observat de Anderson, F. Joliot şi I. Joliot-Curie, Neddermeyer, L. Meitner şi K. Phillips, puţin timp înaintea descoperirii procesului de anihilare.

În cazul existenţei tuturor proceselor luate în considerare pînă acum, electronul nu mai este obligatoriu „stabil“. Doar diferenţa numărului de electroni şi de pozitroni rămîne totdeauna constantă în cursul unor astfel de procese.

TEORIA CUANTICĂ GENERALĂ A CÎMPURILOR. În acest mod a fost elaborată o teorie cuantică a cîmpului asociat electronului şi pozitronului cu ajutorul operatorilor de generare şi de anihilare. Diferenţa foarte importantă dintre fermioni şi bosoni se traduce prin proprietăţi esenţial diferite în algebra acestor noi operatori. Aceste noţiuni au fost mai apoi generalizate.

1. Oricărui fermion îi corespunde obligatoriu un antifermion şi ansamblului celor două particule îi este asociat un acelaşi cîmp. S-a admis extinderea acestei legi la bosoni. Totuşi, antiparticula ar putea să coincidă cu particula dacă aceasta nu are nici o proprietate algebrică intrinsecă (care să poată avea cele două semne opuse), adică nu are sarcină electrică. Acesta este cazul fotonului.

2. Dacă se face abstracţie de cuplajele dintre diferite cîmpuri, nu există nici un proces de emisie sau de absorbţie: numerele diferitelor particule rămîn constante.

În cazul cuplajelor, evoluţia unui ansamblu de particule diferite depinde de produsele dintre operatorii diverselor cîmpuri asociate care induc emisia şi absorbţia acestor particule. Frecvenţa acestor procese depinde de un factor numit *constantă de cuplaj*, care este analog sarcinii elementare din electrodinamica cuantică şi care figurează în fiecare dintre aceste produse. Există tot atîtea constante de cuplaj, cîte tipuri de procese care diferă prin natura particulelor există.

3. Totuşi, nu poate fi luat în considerare orice proces:

a) ecuaţiile trebuie scrise în acelaşi mod în toate sistemele de axe deduse unele din altele prin deplasări. De aici rezultă automat legile de conservare obişnuite ale dinamicii: conservarea energiei şi impulsului şi consevarea momentului cinetic total. Aceasta din urmă implică faptul că fermionii vor fi emişi sau absorbiţi totdeauna în perechi, fapt datorat proprietăţilor momentului cinetic din mecanica cuantică: momentul cinetic orbital, care se adaugă spinului, este totdeauna întreg (în unităţi $h/2\pi$). Ecuaţiile trebuie să aibă şi aceeaşi formă în toate sistemele aflate în mişcare uniformă unele faţă de celelalte, în conformitate cu principiul relativităţii restrînse. Aceasta antrenează utilizarea dinamicii relativiste, apariţia „efectului orologiului“ asupra perioadelor particulelor instabile în mişcare, precum şi teorema PCT (vezi p. 388, 389);

b) există principii de conservare: conservarea sarcinii electrice, conservarea barionilor sau a particulelor grele (Wigner, 1953).

Nu este posibilă menţinerea principiilor de conservare separate pentru fiecare tip de particulă şi de antiparticulă asociată. După descoperirea neutronului, în 1932, a devenit cunoscută dezintegrarea sa,

$$n \to p + e^- + \bar{\nu}; \tag{1}$$

în această reacţie, neutronul se transformă într-un proton, emiţînd şi o pereche de fermioni: un electron şi un neutrin de spin 1/2 şi de masă de repaus nulă.

În continuare au fost descoperiţi hiperonii, care sînt mult mai instabili decît neutronul (cu vieţi medii de ordinul a 10^{-10} s în loc de 1000 s) şi care se pot transforma în neutroni şi protoni.

În toate procesele cunoscute, numărul de barioni (neutroni + protoni + hiperoni), minus numărul de antibarioni, rămîne constant. Se admite valabilitatea universală a acestui principiu, care concordă cu stabilitatea materiei, în sensul obişnuit, şi care interzice un proces nuclear ca $p \to e^+ + e^- + e^+$.

FORŢELE NUCLEARE. INTERACŢIILE TARI. 1. Studiul nucleului a pus în evidenţă existenţa unor forţe de un tip diferit de forţele electromagnetice şi îndeosebi de cele electrostatice, care acţionează asupra electronilor şi protonilor din nucleu (în ciuda respingerii electrostatice reciproce a protonilor).

Spre deosebire de forţele coulombiene (electrostatice), ele au o acţiune la foarte scurtă distanţă (de ordinul a 10^{-13} cm), care nu se face simţită în afara nucleului. În schimb, forţele nucleare sînt mult mai intense: energia de legătură medie a unui nucleon (neutron sau proton) din nucleu este de ordinul a 10 MeV, în timp ce pentru un electron atomic superficial, aceasta este de ordinul a 10 eV, adică de un milion de ori mai mică.

Proprietăţile generale ale nucleelor (constanţa densităţii şi a energiei de legătură pe nucleon) au permis tragerea concluziei că acestea au anumite proprietăţi de *saturaţie;*

ele nu sînt atractive decît pentru perechi de nucleon într-o anumită stare de mişcare relativă.

Informaţii mai amănunţite asupra acestor forţe au fost obţinute prin studiul proprietăţilor deuteronului, care este nucleul compus cel mai simplu, fiind format dintr-un proton şi un neutron. Studiul ciocnirilor proton-proton şi neutron-proton, la diferite energii, furnizează, de asemenea, informaţii preţioase.

2. Conform principiilor generale ale teoriei cîmpurilor, acestui nou cîmp de forţe trebuie să-i corespundă un nou boson. Între distanţa de acţiune a forţei şi masa de repaus a particulei intermediare există o relaţie simplă, care arată că masa lui trebuie să fie de 200 ori mai mare ca masa electronului (ipoteza mezonului, Yukawa, 1935). Deoarece forţele nucleare se exercită între doi nucleoni oarecare care îşi pot schimba sarcina (proprietate care este în acord cu saturaţia), această particulă trebuie să existe sub forma particulelor cu sarcină (+, —, neutră), efectiv descoperite mai tîrziu (vezi p. 375).

Constanta de cuplaj dintre cîmpurile nucleonului şi pionului trebuie să fie mare *(interacţie tare)*, ceea ce nu mai permite utilizarea unei metode perturbaţionale, ca în cazul electrodinamicii cuantice. De aceea, în ciuda eforturilor teoreticienilor, teoria cîmpului mezonic nu s-a putut dezvolta cu acelaşi succes cantitativ ca şi cea dintîi; un proces aparent simplu poate avea un mare număr de etape intermediare, probabilitatea lor fiind de acelaşi ordin, oricare ar fi numărul lor, ca de exemplu la schimbul unui număr oarecare de pioni virtuali între doi nucleoni.

3. S-a observat că forţele neutron-neutron, proton-proton şi neutron-proton trebuie să fie aproximativ egale. Dacă se postulează exactitatea acestei proprietăţi, forţele nucleare ignorează diferenţa dintre neutron şi proton; totuşi, în nucleu nu poate fi exclusă existenţa unui proton care se găseşte în aceeaşi stare ca şi un neutron şi atunci se poate postula că singura lor diferenţă constă într-un număr cuantic „intern“, capabil să ia două valori, şi care reprezintă „proiecţia“ spinului izotopic, *a izospinului*, denumit astfel prin analogie cu spinul.

Dar această mărime nu mai corespunde unei proprietăţi spaţiale, ca în cazul spinului, adică unei proprietăţi de transformare a componentelor funcţiei de undă la schimbarea axelor. Ea nu mai are caracterul unui moment cinetic şi nu se poate compune ca acesta. Totuşi, izospinii se compun între ei ca şi momentele cinetice şi au aceleaşi proprietăţi algebrice.

Datorită faptului că forţele nucleare nu depind de izospin, acesta rămîne constant în toate procesele în care ele intervin. Aplicînd aceste noţiuni la schimbul de pioni, se observă că aceştia corespund izospinului 1, ceea ce concordă cu cele trei forme π^-, π^0, π^+.

Dimpotrivă, forţele electromagnetice diferenţiază valorile „proiecţiei“ izospinului, care corespund unor sarcini diferite. Fiecărei valori a izospinului îi corespunde un „multiplet“ de stări asociate diferitelor valori posibile ale „proiecţiei“ sale, care au sarcini electrice diferite; în cazul nucleelor, acestea sînt multipleţi de izobari. Şi hiperonii se încadrează printre aceşti multipleţi de particule, care au aproximativ aceeaşi masă, ca neutronul şi protonul. Noţiunea se aplică deci barionilor ca şi mezonilor π şi K, adică tuturor particulelor ale căror cîmpuri sînt cuplate prin interacţii tari, de acelaşi ordin cu cele nucleon-pion, şi care conservă izospinul.

INTERACŢIILE SLABE. DEZINTEGRAREA β. În studiul nucleelor a mai fost pus în evidenţă şi un alt tip de interacţie, care corespunde emisiei de perechi electron-neutrin, prin transformarea (1) a neutronului în proton, în dezintegrarea β^-. De asemenea, într-un nucleu poate avea loc reacţia

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu \tag{2}$$

unde ν este antiparticula lui $\tilde{\nu}$, care apare în (1).

Existenţa neutrinului a fost postulată de Pauli, în 1931, pentru a ţine seama de necesitatea conservării energiei şi a momentului cinetic. Masa sa de repaus este nulă, ca şi cea a fotonului. Fermi a prezentat teoria acestei particule în 1936.

Concordanţa cu perioadele determinate experimental necesită în acest caz o constantă de cuplaj între cîmpurile asociate celor 4 particule din reacţiile (1) şi (2) cu mult mai mică decît cea dată de electrodinamică (astfel, perioadele de tranziţie cele mai probabile trec de la 10^{-10} s în cazul emisiei γ, la cîteva zile în cazul emisiei β). În acest fel, calculul perturbaţional se efectuează uşor şi poate fi limitat la procesele cele mai simple. Pe de altă parte, schimburile de perechi $e-\nu$ nu implică nici o forţă practic observabilă între nucleoni.

Determinarea formei precise a interacţiei a necesitat totuşi numeroase cercetări experimentale şi teoretice asupra *regulilor de selecţie* (relaţia dintre viaţa medie şi variaţia momentului cinetic al nucleului în cazul tranziţiei β) şi asupra *formelor spectrelor* energetice ale electronilor, corespunzătoare diferitelor variaţii ale momentului cinetic; cercetările au fost efectuate mai ales după 1945). Această formă nu a putut fi determinată complet decît după ce T. D. Lee şi C. N. Yang au sugerat, în 1957, existenţa unei interacţii *neinvariante la operaţiile simetrie spaţială*, contrar interacţiilor electromagnetice şi nucleare; această ipoteză a fost confirmată imediat de experienţele lui C. S. Wu asupra nucleelor de cobalt-60 orientate la temperatura heliului lichid.

TEOREMA *PCT*. Se notează cu *P* operaţia de simetrie spaţială în raport cu un punct (echivalentă cu o rotaţie de 180°, urmată de o reflexie faţă de un plan), cu *C* operaţia care schimbă toate particulele în antiparticulele lor, iar cu *T* operaţia de „inversie temporală“, care schimbă sensul tuturor impulsurilor (clasic, al vitezelor) şi schimbă absorbţiile în emisii, şi reciproc (fig. 23).

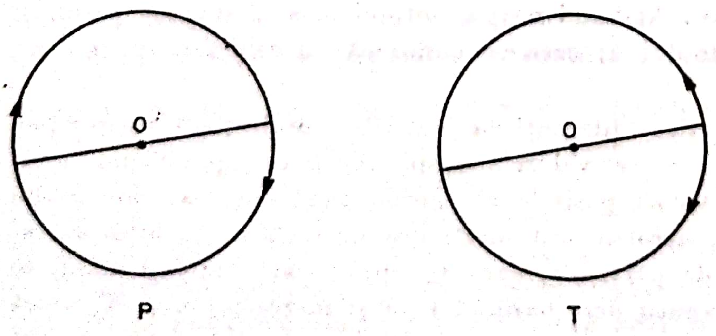


FIG 23. OPERAŢIILE *P* ŞI *T*.

De remarcat că T schimbă semnul momentelor cinetice, în timp ce P nu-l schimbă; semnul unui moment cinetic proiectat pe axa Oz este de fapt legat de sensul rotației în jurul axei Oz, iar acesta nu este schimbat decît de T. Axa Oz este perpendiculară pe planul figurii.

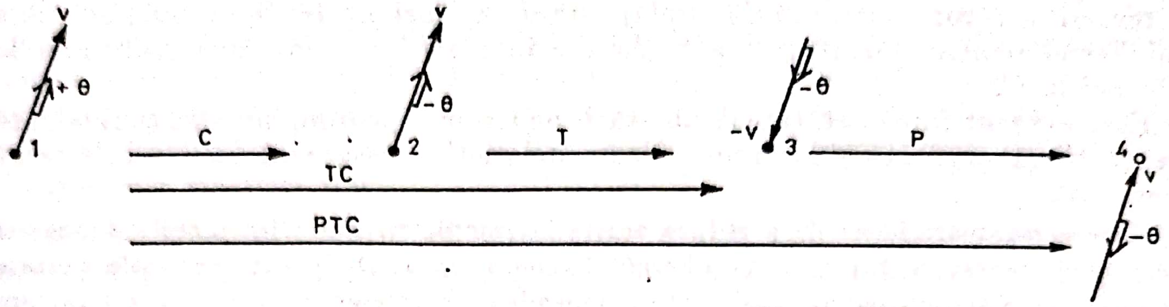


FIG. 24. INVARIANȚA LA *PTC*.
1 este un proces de emisie a unui pozitron cu viteza v; sensul spinului său proiectat pe v este indicat de săgeata dublă. Aplicînd C, T și apoi P, se deduc procesele 1, 2, 3, 4, în care este implicat un electron.

Aplicat antiparticulelor, principiul înseamnă de fapt că există o echivalență completă între procesele deduse unul din altul prin efectuarea produsului PTC al celor 3 operații.

În cazul proceselor complexe, T le schimbă ordinea în timp. Pauli și Lüders au demonstrat independent, în 1956, că invarianța la operațiile PTC este totdeauna respectată, oricare ar fi interacțiile, cu condiția ca acestea să satisfacă invarianța relativistă. Descoperirea experimentală a antiprotonului și apoi a antineutronului, în 1955, de Segré, a stimulat aceste cercetări teoretice.

INVARIANȚA P ȘI C A INTERACȚIILOR ELECTROMAGNETICE ȘI TARI. Ecuațiile electrodinamicii sînt invariante la operația P; rezultă că sistemele simetrice au în mod obligator aceeași energie și că procesele simetrice sînt la fel de probabile.

În teoria cuantică, de aici rezultă importanta teoremă *a conservării parității;* se demonstrează că, dacă ecuațiile sînt invariante la operația P, un cîmp oarecare poate fi doar multiplicat cu ± 1 la efectuarea simetriei spațiale. Fiecărui cîmp îi este astfel asociată o *paritate intrinsecă*, iar pentru o stare de mișcare dată a particulei produse sau absorbite, o *paritate orbitală*. Produsul parităților tuturor particulelor prezente rămîne constant.

Aceste interacții sînt cu siguranță invariante la operația C: toate sarcinile (ca și cîmpurile) își schimbă semnul. După cum rezultă din operațiile de simetrie precedente, ele sînt invariante și la operația T.

Pînă în 1957 se considera că *toate fenomenele* fizice sînt invariante separat la cele trei operații. Forțele nucleare manifestă aceleași invarianțe. Dimpotrivă, interacțiile slabe s-au dovedit, în 1957, neinvariante la operațiile P și C. Neinvarianța la operația P atrage după sine *neconservarea parității* în procesele corespunzătoare. Totuși, experiențele concordă cu invarianța la operația T, deci cu invarianța la produsul de operații

PC. Neinvarianţa la operaţia *P* se manifestă într-un mod evident în cazul unui neutrin emis, care nu există decît într-o stare „stîngă", cu spin opus impulsului, cum a dovedit-o o experienţă din 1958 a lui Goldhaber; antineutrinul nu există decît în starea „dreaptă".

ALTE INTERACŢII SLABE. Toate particulele elementare se dezintegrează prin interacţii a căror constantă de cuplaj este de acelaşi ordin de mărime cu cea a lui Fermi pentru dezintegrarea β. Aceste interacţii nu sînt invariante nici la *P*, nici la *C*.

Este evident faptul că cele două stări, neutron şi proton, nu sînt echivalente în reacţii (1) şi (2); ca şi interacţia electromagnetică, *aceste interacţii nu conservă izospinul.*

Este atrăgătoare ideea de a reduce aceste interacţii, cel puţin interacţiile dintre cei 4 fermioni (interacţia universală a lui Fermi) la una singură. Din păcate, procesele cauzate de interacţii slabe nu pot fi considerate independent de interacţiile tari în cazul în care se dezintegrează particulele „tari" (particule cu interacţii tari: barionii şi mezonii π sau K).

Independenţa interacţiei electromagnetice se datoreşte faptului că

1. constanta de cuplaj este sarcina electrică, care satisface un principiu de conservare;
2. ecuaţiile satisfac „invarianţa de etalon", legată de faptul că masa de repaus a fotonului este nulă.

Nu există proprietăţi complet analoage ale acestei interacţii cu cele ale interacţiilor slabe.

LEPTONII. Există particule care nu au decît interacţii slabe şi electromagnetice, ca electronul, neutrinii şi miuonul (numit iniţial mezon μ), cu masa de 200 m_e, şi antiparticulele lor.

Pentru aceste particule nu se poate deci defini un izospin. S-a postulat astfel un principiu de *conservare a leptonilor* (e^-, μ^-, $\tilde{\nu}$ fiind consideraţi leoptoni, iar e^+, μ^+, ν antileptoni) analog principiului de conservare a barionilor.

Miuonul se dezintegrează într-un electron şi doi neutrini. O experienţă efectuată la Berkeley (1962) a dovedit că aceşti neutrini au proprietăţi diferite, unul fiind asociat electronului, iar celălalt miuonului.

CONCLUZII ASUPRA INTERACŢIILOR ŞI TEORIEI CÎMPURILOR. În cadrul teoriei cuantice a cîmpurilor apar deci trei grupe de interacţii net distincte; tabloul următor arată că simetria generală descreşte cu intensitatea interacţiei.

Interacţii	*Simetria*	*Conservarea izospinului*
Tari	Invariante la *P* şi *C* separat, deci şi la *T*.	Da
Electromagnetice	Invariante la *P* şi *C* separat, deci şi la *T*.	Nu (izospinul nu este luat în considerare decît pentru particulele tari).
Slabe	Invariante doar la *PC*, deci şi la *T*.	Nu (idem).

Există o interacţie şi mai slabă decît interacţiile slabe, gravitaţia, care din această cauză nu se manifestă practic la scară microscopică. Intră ea oare în schema generală a teoriei cuantice a cîmpurilor, sau este doar o proprietate geometrică a spaţiu-timpului, după cum postulează relativitatea generalizată a lui Einstein? Aceasta reprezintă o problemă încă nerezolvată. Dacă gravitaţia intră în cadrul cuantic, ea trebuie să fie propagată de o particulă cu spinul 2, care a fost numită *graviton*. Ca şi fotonul, gravitonul trebuie să sufere el însuşi efectul gravitaţiei, conform principiilor relativităţii; cîmpul trebuie să fie deci cuplat cu el însuşi: apar ecuaţii neliniare (ca cele ale lui Einstein), cărora nu li se cunoaşte deloc sensul în cazul operatorilor de cîmp[14]. Trebuie remarcat faptul că pînă acum nu au fost detectate unde gravitaţionale capabile să fie asociate unor gravitoni reali.

Este îmbucurător faptul că interacţiile dintre numeroasele particule „elementare“ s-au putut clasifica astfel, reducîndu-se numărul lor la trei (sau patru, dacă se include şi gravitaţia).

Am trecut totuşi sub tăcere numeroasele dificultăţi generale ale teoriei. Forma cea mai perfectă a acesteia o constituie electrodinamica cuantică, în care procesele de ordin mai înalt conduc adesea la „catastrofe ultraviolete“ (rezultate infinite datorate impulsurilor mari ale particulelor intermediare). Abia prin 1946 s-a reuşit să se depăşească această dificultate, după descoperirea efectului Lamb, în 1945. Acest efect, care constă în separarea foarte fină a două nivele ale atomului de hidrogen, confundate în teoria lui Dirac, a putut fi detectat prin metoda absorbţiei undelor hertziene centimetrice. Bethe a explicat efectul printr-o diferenţă a efectelor cîmpului electromagnetic propriu al electronului în stare legată şi în stare liberă. Fiecare dintre aceste efecte este de fapt infinit pentru electronul punctiform. Folosind calcule care conservă la fiecare etapă invarianţa relativistă, Tomonaga, apoi Schwinger şi Feynman şi Dyson au elaborat o teorie destul de coerentă care justifică aceste diferenţe ale unor mărimi infinite şi care constituie renormarea. De asemenea, Feynman a simplificat mult metoda perturbaţională, tratînd printr-un singur calcul diagrame ca cele din figura 22 şi 23 ale unor procese intermediare. Aceste metode de calcul au condus la rezultate de o precizie extremă.

Totuşi, se pare că în electrodinamică a rămas o serie de incoerenţe (complexitatea unor procese atît de generale nu a permis tranşarea lor certă), care nu afectează însă rezultatele pentru interacţii destul de slabe. Acelaşi lucru se poate afirma şi despre interacţiile slabe, pentru care incoerenţele sînt sigure; ele nu se deosebesc însă net de interacţiile tari. În sfîrşit, acestea din urmă nu pot fi tratate cantitativ, ci, în cel mai bun caz, prin „modele“ simplificate, care conţin ipoteze arbitrare şi adesea contradictorii.

În general, fizica teoretică a progresat cînd a putut unifica prevederea şi înţelegerea unui mare număr de fenomene, unificarea traducîndu-se printr-un cît mai mic număr de constante fundamentale.

---

[14] După 1950, Heisenberg a efectuat mai multe încercări de a reprezenta toate procesele printr-un astfel de *cîmp unic*. El nu a putut obţine pînă acum din aceste ecuaţii neliniare nici un rezultat sigur, în acord cu realitatea.

Pînă acum, această unificare a progresat de la mecanica clasică newtoniană la mecanica cuantică, în detrimentul caracterului „concret". Acest caracter, din ce în ce mai abstract şi algebric (doar relativitatea îşi păstrează încă un caracter geometric), provine din îndepărtarea din ce în ce mai accentuată de noţiunile adaptate lumii fizice la scara noastră.

Teoria cuantică a cîmpurilor a constituit o astfel de etapă, prezentînd încă şi mai mult acest pronunţat caracter algebric abstract. Dar, dacă se poate considera că s-a obţinut o anumită unificare a interacţiilor, nu se poate spune că această teorie a adus o mai mare unitate, datorită numărului relativ mare de particule fundamentale, fiecare avînd cîmpul său asociat. Fiecăreia îi corespunde cel puţin o constantă: masa sa proprie. O teorie viitoare va trebui, fără îndoială, să unifice mai mult particulele elementare şi interacţiile lor. O idee seducătoare este aceea că masa proprie (sau energia proprie) a fiecărei particule ar proveni din interacţia sa cu toate celelalte. Aceasta ar concorda cu faptul că particulele „tari" au masele cele mai mari. Totuşi, se pare că miuonul are exact aceleaşi interacţii ca şi electronul, dar o masă apropiată de cea a pionului. În orice caz, teoria actuală nu permite nici o explicaţie pentru masele proprii. Se speră că studiul interacţiilor la energii înalte va furniza informaţiile experimentale necesare, permiţînd, de asemenea, explorarea regiunilor unui spaţiu de dimensiuni din ce în ce mai mici.

■

Notă. Pentru o informare cît de cît sumară este oportun să mai menţionăm aici cîteva rezultate deosebit de semnificative obţinute de cercetătorii teoreticieni şi experimentatori din România, în domeniile fizicii moderne. Astfel relativ la mecanica cuantică se pot aminti cercetările acad. Şerban Ţiţeica asupra rezistenţei electrice a metalelor în cîmp magnetic şi asupra fluctuaţiilor de parcurs a particulelor ionizate, lucrările dr. Alex. Proca (1897—1955) privind descoperirea teoriei mezonilor vectoriali (realizare remarcabilă, de nivel mondial) şi ale dr. Nicolae Ionescu-Pallas asupra teoriei cuantice relativiste a particulelor de spin arbitrar. În domeniul teoriei relativităţii putem menţiona lucrările prof. Theofil Vescan (cosmologie), ale prof. Mircea Drăganu (difuzia relativistă a neutronilor), ale prof. Ioan Gottlieb (teoria clasică şi cuantică a gravitaţiei) etc. În domeniul fizicii nucleare menţionăm cercetările asupra teoriei microscopice a emisiunii X ale dr. Aurel Săndulescu, cercetările asupra secţiunilor neutronice de fisiune a U^{235} şi Pu^{239} ale prof. Marius Petraşcu (şi colaboratorii săi) şi cercetările asupra polarizării neutronilor, ale prof. Ionel Mânzatu.

Tot prof. Marius Petraşcu este autorul unei metode inedite, foarte eficiente, de iniţiere a reacţiilor nucleare cu ajutorul mezo-atomilor.

În domeniul teoriei particulelor elementare amintim lucrările dr. Sorin Ciulli, asupra metodelor de prelungire analitică stabilă a amplitudinilor de difuzie de mare energie, ale dr. I. Raszillier asupra form-factorilor pionici şi ale dr. Mircea Micu asupra form-factorilor în dezintegrări leptonice ale mezonilor K.

În sfîrşit, este cazul să mai amintim aici o altă serie de cercetări care se încadrează mai dificil în structura acestei cărţi, dar a căror preeminenţă nu poate fi ignorată: descoperirea metodei rezonanţei acustice la lichide (prof. D. Bungeţeanu); descoperirea telefoniei multiple, realizare de talie mondială a ştiinţei româneşti (prof. Augustin Maior); cercetări originale în domeniul spectroscopiei gazelor ionizate şi în clarificarea spectrului oxigenului (prof. Constantin Mihul); o nouă teorie a genezei sistemului solar, bazată pe oscilaţiile proprii ale unei nebuloase iniţiale discoidale (prof. Victor Vîlcovici); cercetări asupra mecanismelor de reacţie moleculară prin marcare cu izotopi stabili şi elaborarea de proceduri eficiente pentru separări izotopice (acad. Victor Mercea şi colaboratorii săi); edificarea principiului de semnificaţie în fizica matematică (acad. Nicolae Teodorescu); efectul Compton relativist pentru fotoni cu masă de repaus (prof. Valer Novacu); cercetări teoretice asupra împrăştierii relativiste a particulelor cu spin mai mare ca 1/2 (prof. Zoltan Gabos); cercetări teoretice asupra coroziunii metalelor prin metode elipsometrice (prof. George Moisil); rezultate inedite în domeniul magnetohidrodinamicii (dr. Ioan Mercheş şi dr. Margareta Ignat); studii originale asupra împrăştierii neutronilor pe substanţe lichide şi gazoase pentru inferenţe de structură atomo-moleculară (dr. Dorel Bally şi dr. Sebastian Râpeanu); contribuţii originale la teoria reactorilor nucleari (dr. Ionel Purica); contribuţii experimentale şi teoretice în problema rezonanţelor izobar-analoage ale nucleelor atomice (dr. Alex. Berinde); contribuţii la studiul rezonanţei nucleare gigantice (dr. George Baciu); inferenţe asupra structurilor energetice ale nucleelor atomice din studiul corelaţiilor unghiulare (dr. Marin Ivaşcu). — *N.I.-P.*

CAPITOLUL XI
Chimia

A. SITUAŢIA CHIMIEI LA 1900

La începutul secolului al XX-lea chimia cunoştea o perioadă de intensă dezvoltare. Pe la mijlocul secolului trecut, datorită lucrărilor lui Cannizzaro, Kekulé, Lothar Meyer şi Mendeleev, au fost înlăturate incertitudinile atît în determinarea greutăţilor atomice, cît şi în stabilirea structurii moleculare şi a clasificării, ceea ce a permis chimiei să realizeze progrese rapide în domeniul teoretic şi în cel aplicativ. Chimia organică s-a afirmat cu o vigoare deosebită, dar, la începutul secolului, în urma cercetărilor asupra soluţiilor diluate şi asupra aplicării în chimie a principiilor termodinamicii, chimia fizică a început şi ea să suscite interes. Descoperirea radioactivităţii în ultimii ani ai secolului al XIX-lea a avut consecinţe profunde asupra teoriei atomice şi, curînd după aceea, şi asupra diferitelor ramuri ale chimiei experimentale şi teoretice. În celelalte domenii ale chimiei se manifesta însă o activitate mai puţin susţinută. În chimia anorganică, chimiştii continuau să descopere noi elemente şi noi compuşi, dar acestor cercetări le lipsea o teorie coerentă asupra legăturii chimice. Chimia analitică făcea progrese în special datorită lucrărilor unor specialişti din alte domenii care descopereau noi metode şi noi căi de abordare în funcţie de propriile lor probleme experimentale şi teoretice. Instrumente ca polarimetrul, colorimetrul şi spectroscopul erau folosite de multe decenii, dar într-un mod empiric.

Abia ieşită din stadiul descriptiv, chimia biologică păstra un caracter static, interesîndu-se mai mult de tipurile de compuşi prezenţi în ţesuturile vii decît de funcţiile lor.

Din punctul de vedere al evoluţiei chimiei, secolul al XX-lea poate fi împărţit în două perioade cu caracteristici foarte diferite. Pînă la sfîrşitul primului război mondial, chimia rămăsese, în mare măsură, la stadiul în care se afla la sfîrşitul secolului trecut. În cursul celor două decenii, Germania a ocupat o poziţie dominantă în domeniul cercetării, învăţămîntului şi aplicaţiilor, astfel încît această superioritate a constituit un handicap pentru naţiunile aliate, în efortul lor de a recupera rămînerea în urmă în domeniile respective. Necesităţile impuse de război au modificat rapid această situaţie, schimbare care a continuat şi după război, conducînd la o remarcabilă dezvoltare a chimiei în numeroase colţuri ale lumii.

În cursul celor patru decenii ce au trecut de la primul război mondial, cercetarea chimică, adoptînd un punct de vedere mai dinamic, s-a ocupat mai mult de transformări chimice decît de probleme de compoziţie, deşi nici acestea nu au fost neglijate. Studiile de radiochimie şi de spectroscopie au dus la o dezvoltare a teoriilor asupra structurii atomice care, deşi în plină evoluţie, au permis o interpretare din ce în ce mai satisfăcătoare a fenomenelor fizice şi chimice. Pe baza acestor concepţii atomice, au fost elaborate teorii asupra legăturii chimice care au putut fi folosite cu succes la principalele clase de substanţe chimice, anorganice şi organice.

Aplicarea diverselor teorii fizice, precum termodinamica, mecanica cuantică şi mecanica statistică în chimie, a condus de asemenea la progrese importante.

Pentru a cunoaşte evoluţia chimiei în secolul al XX-lea, este necesar să se urmărească dezvoltarea principalelor sale ramuri. Definite net încă de la începutul secolului, aceste discipline speciale şi-au menţinut poziţiile, chiar dacă tendinţa spre o fragmentare din ce în ce mai accentuată, atît de evidentă în prima parte a secolului, a scăzut într-o oarecare măsură. Spre mijlocul secolului nostru s-a observat, din ce în ce mai clar, că diferitele ramuri ale chimiei pot beneficia de un schimb reciproc de idei. Deşi formarea chimiştilor a continuat să fie caracterizată de o specializare timpurie şi accentuată, a apărut o mai mare înţelegere a importanţei cercetărilor interdisciplinare, efectuate nu numai cu ajutorul diferitelor ramuri ale chimiei, ci şi cu cel al matematicii, fizicii şi biologiei.

B. RADIOACTIVITATEA ŞI IMPLICAŢIILE SALE CHIMICE

1. De la elementele radioactive la izotopi

RADIOACTIVITATEA ŞI DESCOPERIREA IZOTOPILOR. În secolul al XX-lea aproape toate ramurile chimiei au fost profund influenţate de descoperirea radioactivităţii, efectuată în 1896 de H. Becquerel. Nu vom reveni nici asupra acestei descoperiri, nici asupra celei a poloniului, a radiului şi a diverselor elemente radioactive sau „emanaţii“[1], care au fost expuse într-un capitol precedent.

Izolarea altor substanţe radioactive, în primul deceniu al secolului al XX-lea, a confirmat părerea emisă încă din 1902 de E. Rutherford, după care diferitele elemente radioactive suferă o serie de dezintegrări care conduc la formarea unor noi elemente. Dar descoperirea faptului că separarea pe cale chimică a unui element radioactiv amestecat cu un element cunoscut (de exemplu radiul D cu plumb) era adesea imposibilă a condus la ipoteza că atomii radioactivi ar putea să fie forme diferite ale unor elemente binecunoscute.

S-a observat treptat că diversele serii de dezintegrări radioactive se terminau printr-o transformare finală în atomi de plumb, dar mai mulţi cercetători au remarcat faptul că masele atomice ale urmelor de plumb obţinute din diferite surse nu coincideau. În laboratorul său de la Harvard, celebru în special pentru determinarea greutăţilor atomice, T.W. Richards a studiat probe de plumb provenite din diverse minereuri radioactive şi a arătat că masele lor atomice se distribuie între 206,4 şi 208,4, în timp ce valoarea cunoscută este 207,2. Rezultate asemănătoare au fost obţinute şi în laboratoarele lui Otto Hönigschmidt şi ale lui Maurice Curie.

---

[1] „Emanaţie“ este numele dat gazului care se dezvoltă din preparatele radioactive de radiu, toriu sau actiniu. Emanaţia radiului, de pildă, este gazul inert numit radon. — *N.R.*

Faptul că anumite specii radioactive nu puteau fi separate de elementele obişnuite a dovedit treptat că, contrar ideilor lui Dalton, nu toţi atomii unui element dat sînt identici. În 1913, F. Soddy a dat denumirea de *izotopi* atomilor care ocupă aceeaşi căsuţă în tabloul periodic al elementelor şi au aceeaşi comportare chimică, diferind însă puţin în privinţa proprietăţilor fizice. Cercetările întreprinse după 1919 de Francis Aston au confirmat existenţa izotopilor chiar în cazul elementelor stabile, ipoteză care fusese formulată de J.J. Thomson încă din 1913 (vezi p. 412).

PREPARAREA ŞI FOLOSIREA IZOTOPILOR. După experienţele celebre din 1919, în care Rutherford a pus în evidenţă transmutaţia azotului în oxigen sub acţiunea bombardării cu particule α, s-au făcut eforturi deosebite pentru a se obţine şi alte transmutaţii. În deceniul următor, au fost publicate unele rezultate, dar abia după anul 1930 au putut fi realizate experienţe pe scară largă[2].

Construirea acceleratoarelor puternice de particule după 1932 şi descoperirea radioactivităţii artificiale de către I. Joliot-Curie şi F. Joliot în 1934 au inaugurat o nouă eră în cercetarea chimică, datorită posibilităţilor pe care aceste acceleratoare le ofereau în obţinerea izotopilor capabili de a fi folosiţi la „marcarea" substanţelor chimice şi la urmărirea comportării lor în procesele chimice, biologice şi industriale.

Primele experienţe în care se utilizau trasori radioactivi au fost efectuate la scurt timp după introducerea noţiunii de izotop de către Georg von Hevesy şi F.A. Paneth care au folosit radiu D (^{210} Pb) pentru a determina solubilitatea anumitor săruri de plumb (1913). În 1918, Paneth a folosit radioizotopii de plumb şi bismut pentru a studia proprietăţile compuşilor instabili ai acestor elemente. În 1923, Hevesy a utilizat toriul B (^{212}Pb) pentru a studia asimilarea plumbului în plante. Folosirea acestor trasori a rămas totuşi foarte limitată atîta timp cît nu erau disponibili decît izotopii radioactivi naturali.

Această situaţie s-a îmbunătăţit în 1935, cînd au început să fie produşi în mici cantităţi izotopi radioactivi artificiali, datorită folosirii ciclotroanelor, acceleratoarelor liniare şi surselor de neutroni, care permiteau bombardarea elementelor stabile. Hevesy şi O. Chiewitz au iniţiat folosirea radioizotopilor artificiali în biologie, studiind asimilarea fosforului-32 în plante. Studiile efectuate cu ajutorul trasorilor s-au dezvoltat pe măsură ce au devenit disponibili radioizotopi, ca sodiu-24, sulf-35, fier-55 şi iod-131.

Pe de altă parte, au fost efectuate cercetări importante şi cu izotopi stabili, în special cu deuteriu, care este izotopul greu al hidrogenului, descoperit în 1932 de H. Urey. În 1935, R. Schoenheimer a început importantele sale studii asupra metabolismului grăsimilor în organismul animal.

---

[2] Vezi şi studiul lui M. Langevin (pp. 342—345).

El a hrănit cobai cu grăsimi marcate cu deuteriu, apoi i-a sacrificat, le-a ars țesuturile și a determinat densitatea vaporilor de apă rezultanți în scopul determinării localizării depunerilor și deplasării grăsimilor.

Schoenheimer a efectuat de asemenea și studiul metabolismului azotului, prin marcarea diverșilor aminoacizi cu azot-15 stabil. Pentru determinarea traiectoriei acestor compuși îmbogățiți în azot-15 a trebuit să folosească un spectroscop de masă, deoarece diferența de densitate dintre acest izotop și azotul obișnuit era prea mică pentru a putea fi detectată direct.

În cursul anilor următori și în special după 1945 folosirea izotopilor în chimie, în biologie, în medicină și în industrie s-a extins rapid, obținîndu-se izotopi radioactivi ai numeroaselor elemente prin bombardarea substanțelor potrivite cu neutroni, în reactorii nucleari. Descoperirea carbonului-14 a furnizat un izotop radioactiv care, în ciuda vieții sale medii de 5760 ani și a radiației sale slabe, permite efectuarea cercetărilor pentru determinarea structurii spațiale a scheletului atomilor de carbon în compușii organici (vezi pag. 416).

2. Structura atomului

EVIDENȚA STRUCTURII ATOMICE. De la începutul secolului devenise evident faptul că atomii diferitelor elemente puteau să aibă anumite componente comune. În cursul ultimelor decenii ale secolului al XIX-lea, studiul conductibilității electrice a gazelor a condus la descoperirea radiațiilor încărcate pozitiv și a emisiilor de electroni. Se știe[3] că, în 1897, J.J. Thomson a dovedit că radiațiile catodice din tuburile de descărcare erau formate din corpusculi foarte ușori a căror sarcină negativă le-a asimilat-o cu cea transportată de un ion monovalent în cursul electrolizei. Măsurile din ce în ce mai precise ale sarcinii e și ale raportului dintre sarcină și masă, e/m, ale electronului, au condus la o valoare a lui m de 1/1845 din masa atomului de hidrogen.

Încă de la începutul secolului, au fost efectuate diferite încercări pentru a elabora o teorie a structurii atomului. În 1903, P. Lenard a imaginat atomul sub forma unui ansamblu de „dinamide", un fel de dipoli materiali înglobați într-un înveliș inert. Fizicianul japonez H. Nagaoka a propus un model asemănător planetei Saturn: o sferă pozitivă înconjurată de un inel de electroni. În 1904, J. J. Thomson a sugerat ca model atomic o sferă cu sarcina pozitivă uniform distribuită în interior, avînd electronii înglobați în interiorul ei (modelul „cozonacului cu stafide"). În cursul anilor următori au fost emise numeroase alte ipoteze, dar nici una nu a permis obținerea unui model satisfăcător.

Pornind de la experiențele sale asupra împrăștierii particulelor în gaze sau de către foi subțiri de metal, Rutherford a propus în 1911 un model de atom planetar, în care masa şi sarcina pozitivă erau concentrate într-un nucleu minuscul înconjurat de electroni care gravitează la o distanţă destul de mare.

---

[3] Vezi studiul lui P. Marzin și J. Le Mézec (pp. 255–256).

NUMĂRUL ATOMIC. În cursul primului deceniu al secolului, J.J. Thomson şi C.G. Barkla au încercat să determine numărul de electroni prezenţi în atom, dar nu au obţinut rezultate convingătoare. Bazîndu-se pe experienţele de împrăştiere a radiaţiilor α realizate în laboratorul său, Rutheford a emis ideea unei sarcini nucleare corespunzînd aproximativ unei jumătăţi din masa atomică a elementului, presupunînd că un număr egal de electroni se rotesc în jurul acestui nucleu.

Nesiguranţa în cunoaşterea sarcinii nucleului a fost rezolvată în 1913, datorită experienţelor cu radiaţii X realizate de Henry G.J. Moseley (1887—1915). Folosind drept anticatod al unui tub de radiaţii X diferite elemente, Moseley a observat că lungimile de undă ale celor două linii principale ale radiaţiilor X emise de acest anticatod depindeau de elementul folosit, lungimilor de undă mai scurte corespunzîndu-le elemente mai grele.

S-a observat că rădăcinile pătrate ale acestor frecvenţe caracteristice erau funcţii liniare de numerele de ordine ale elementelor în clasificarea periodică a lui Mendeleev, ceea ce dovedea că numerele atomice reprezentau mai mult decît nişte simple numere de ordine în acest tablou. Studiul lui Moseley, efectuat asupra a 39 de elemente, a confirmat locul ocupat de acestea în tabloul periodic, precum şi existenţa lacunelor corespunzătoare numerelor 43, 61 şi 75. Metoda radiaţiilor X folosită de Moseley a stat la baza descoperirilor elementelor hafniu (72) şi reniu (75) (vezi p. 421).

TEORIA LUI BOHR. Atomul lui Rutherford prezenta un defect important. Conform teoriei electromagnetice a lui Maxwell, un electron în rotaţie trebuie să piardă energie sub formă de radiaţii şi, în consecinţă, să se mişte în formă de spirală, apropiindu-se de nucleu. Se ştie că, în 1913, tînărul fizician danez Niels Bohr a reuşit să interpreteze structura atomului de hidrogen din punctul de vedere al teoriei cuantelor[4]. El a postulat că un electron nu poate descrie decît anumite orbite permise şi că, atît timp cît rămîne pe o astfel de orbită, nu emite radiaţii. Dimpotrivă, orice absorbţie de energie este asociată de trecerea electronului pe o altă orbită permisă, corespunzătoare unui nivel de energie superior, în timp ce orice emisie de energie este însoţită de „căderea" sa pe o orbită interioară, corespunzătoare unui nivel de energie mai scăzut.

În acest mod, Bohr a reuşit să interpreteze liniile caracteristice ale spectrului hidrogenului date de legea matematică a lui Rydberg obţinută pe baze empirice în 1890. El a reuşit de asemenea, cu oarecare succes, să folosească o metodă analoagă şi la alte sisteme cu un electron, ca ionii de He^+, Li^{++} şi Be^{+++} precum şi la metalele alcaline la care nucleul şi păturile interioare saturate de electroni pot fi considerate ca un centru cu sarcină pozitivă unitară, electronul periferic unic fiind tratat ca şi cel al atomului de hidrogen. Studiul sistemelor cu mai mulţi electroni a întîmpinat însă astfel de dificultăţi, încît s-a dovedit absolut necesară o reformă a teoriei lui Bohr.

---

[4] Vezi studiul lui L. de Broglie (vezi pp. 144—146).

În 1915, A. Sommerfeld în Germania şi W. Wilson în Anglia au introdus folosirea orbitelor eliptice. Dar, în anii care au urmat primului război mondial, teoria atomică a constituit obiectul unor revizuiri mult mai profunde (vezi pp. 146—151). Ne vom mărgini să amintim crearea mecanicii ondulatorii de către L. de Broglie (1924) şi dezvoltarea ei de către E. Schrödinger (1925), introducerea calculului matriceal şi formularea principiului de incertitudine de către W. Heisenberg (1925—26), cea a principiului de excluziune de către W. Pauli (1925), introducerea noţiunii de spin de către Uhlenbeck şi Goudsmit (1925) şi expunerea teoriei electronului de către Dirac (1929). S-a stabilit treptat că electronii sînt repartizaţi într-o serie de nivele de energie, fiecare nivel conţinînd un număr maxim de 2, 8, 18 şi 32 electroni. Electronii din pătura a doua, a treia şi a patra nu se găsesc în aceeaşi stare de energie: starea fiecăruia dintre ei trebuie să fie definită cu ajutorul a patru numere cuantice, principiul de excluziune afirmînd că doi electroni ai unui atom nu pot avea acelaşi ansamblu de numere cuantice. Pe de altă parte, adoptarea principiului de incertitudine a condus la renunţarea la orbitele lui Bohr în favoarea unor orbite tridimensionale, sub forma unor regiuni ce înconjură nucleul şi în care un electron care are un ansamblu dat de numere cuantice trebuie să se găsească cu cea mai mare probabilitate.

LEGĂTURA CHIMICĂ. Deşi de natură esenţial fizică, noile concepţii asupra structurii atomului au fost imediat folosite în chimie, în special aplicate la legătura chimică. După 1916, schemele de valenţă au început să joace un rol important în discuţiile asupra legăturii chimice. W. Kossel în Germania şi G.N. Lewis şi I. Langmuir în Statele Unite ale Americii au atras atenţia asupra excepţionalei stabilităţi a păturii periferice cu 8 electroni din atomii gazelor rare: neon, argon, kripton şi xenon. S-a considerat atunci că atomii metalici ar putea să dea naştere la astfel de configuraţii prin expulzarea electronilor lor periferici, în timp ce atomii nemetalici le-ar putea realiza prin captura unor electroni suplimentari. Această transformare ar conduce la ioni încărcaţi pozitiv în primul caz şi la ioni încărcaţi negativ în cel de al doilea, astfel că ionii de sarcină opusă s-ar putea atrage reciproc pentru a forma o legătură stabilă. Această teorie explică formarea sărurilor, ca şi existenţa ionilor în soluţii, fenomene care rămăseseră neexplicate încă de la formularea teoriei disociaţiei electrolitice în 1886 de către Arrhenius.

Lewis a elaborat de asemenea teoria „dubleţilor de electroni", pentru a explica combinarea atomilor nemetalici. Legătura prin „dubleţi de electroni", în cazul compuşilor covalenţi, a primit o semnificaţie mai precisă cînd fizicienii olandezi G.E. Uhlenbeck şi Samuel Goudsmit au arătat în 1925 că anumite proprietăţi ale atomului puteau fi explicate prin presupunerea că electronii se rotesc în jurul axei lor. Deoarece această rotaţie *(spin)* poate avea loc în acelaşi sens sau în sens contrar cu rotaţia lor pe orbită, rezultă că o pereche de electroni ce se rotesc în sensuri opuse îşi pot compensa reciproc influenţa. Studiile ulterioare au arătat că o orbită dată a unui atom este considerată completă atunci cînd este ocupată de doi electroni cu spini opuşi, ceea ce reprezintă o condiţie de stabilitate maximă. G.N. Lewis a reuşit să asocieze teoria susceptibilităţii paramagnetice şi cea a culorii cu existenţa electronilor neîmperecheaţi.

În cursul primelor lor cercetări asupra legăturii chimice, Lewis şi Langmuir au recurs la modele cubice statice. Acestea au cedat apoi locul unor interpretări mai subtile, dar octetul stabil (8 electroni pe ultima orbită) şi legătura prin dublet electronic au jucat un rol foarte important în punerea la punct a modelelor moleculare.

Noţiunea de covalenţă simplă s-a dovedit insuficientă pentru a explica legăturile elementelor în numeroşi compuşi, dar extinderea acesteia a permis depăşirea cu succes a unor dificultăţi. Noţiunea de legătură coordinativă (covalenţă de coordinaţie) a fost introdusă în cazul legăturilor pentru care cei doi electroni ai dubletului pus în comun sînt furnizaţi de un singur atom, celălalt atom ataşîndu-se doar pentru a-şi completa pătura sa periferică de electroni şi pentru a forma un octet stabil. Englezul J.N. Sidgwick a avut un rol important în punerea la punct a acestor noţiuni (vezi. p. 418).

Curînd după ce Schrödinger a introdus celebra ecuaţie care exprima mişcarea electronilor în atom, au fost propuse trei metode ce concură în a furniza o soluţie aproximativă a acestei ecuaţii, pentru cazul moleculelor.

W. Heitler şi F. London au interpretat legătura chimică din molecula de hidrogen cu ajutorul mecanicii cuantice. Această teorie a legăturii de valenţă (vezi p. 418) a fost extinsă rapid la molecule mai complexe de către Linus Pauling, J.C. Slater, Max Born, H. Weyl etc.

A doua metodă, denumită a orbitalilor moleculari, folosind energia şi funcţia de undă a fiecărui electron, a fost dezvoltată de F. Hund, R.S. Mulliken şi J.E. Lennard-Jones (vezi p. 418).

Cea de a treia metodă, cea a cîmpului cristalin sau metoda *cîmpului de liganzi*, a fost elaborată de Hans Bethe, H.A. Kremers, J.H. Van Vleck. Această teorie consideră complecşii ca fiind sisteme electrostatice relativ simple, formate din sarcini punctiforme şi din dipoli. Energiile potenţiale ale diferitelor tipuri de interacţii dintre atomi sau dintre grupările de atomi sînt tratate cu ajutorul electrostaticii clasice.

Deşi Van Vleck a arătat în 1935 că, în ultimă instanţă, aceste trei interpretări sînt echivalente, ele au cunoscut un succes inegal la chimişti şi la fizicieni. Între 1930 şi 1940, teoria legăturii de valenţă s-a bucurat de un mare succes în rîndul chimiştilor. Anumiţi chimişti organicieni au folosit totuşi şi teoria orbitalilor moleculari, care este o metodă preferată în general în studiul chimiei şi fizicii stării solide. Doar specialiştii în magnetism au admis importanţa teoriei cîmpului cristalin. Datorită studiului mai aprofundat al stărilor electronice excitate ale moleculelor, teoriile orbitalilor moleculari şi ale cîmpului cristalin au cunoscut după 1945 succese mai mari. În domeniul chimiei anorganice, în care teoria legăturii de valenţă se aplica cu succes atîta timp cît interesul era concentrat asupra stărilor electronice fundamentale ale moleculelor, studiile spectroscopice au dovedit că această teorie nu poate explica stările excitate în compuşii de coordinaţie.

C. CHIMIA FIZICĂ

1. Originea și primele realizări

Deși proprietățile fizice ale substanțelor chimice au fost studiate de peste un secol, abia spre sfîrșitul secolului al XIX-lea chimia fizică a început să se constituie într-o știință aparte. Folosirea principiilor termodinamicii la sistemele chimice progresa lent, deși Horstmann și Gibbs au avut o participare activă în cursul ultimelor trei decenii ale secolului trecut. Cercetările lui Marcelin Berthelot și ale lui Julius Thomsen asupra căldurilor de reacție au fost înțelese mai ușor, dar n-au permis o corelare satisfăcătoare cu „afinitățile". Studiile lui Raoult și Arrhenius asupra proprietăților soluțiilor diluate și descoperirea de către van't Hoff a similitudinii dintre aceste proprietăți și legile gazelor au fost cei doi factori esențiali care au condus la un studiu teoretic al sistemelor chimice. Fundarea de către Wilhelm Ostwald, în 1887, a revistei „Zeitschrift für Physikalische Chemie" este luată adesea drept punct de plecare în dezvoltarea chimiei fizice, considerată ca știință independentă.

Încă înainte de începutul secolului al XX-lea, acest domeniu a cunoscut rezultate importante datorită în special cercetărilor întreprinse în laboratorul lui Ostwald de la Leipzig și creării unor noi centre de cercetare de către mai mulți discipoli ai acestui chimist german. Anumiți savanți priveau acest cuvînt cu o oarecare neîncredere, dar îndoielile lor nu au avut drept efect decît stimularea a noi cercetări destinate să răspundă criticilor.

2. Termodinamica chimică

PRIMELE APLICAȚII. Din momentul în care a doua lege a termodinamicii a fost folosită de A. Horstmann la fenomenul de disociere (1873), interpretarea termodinamică a proceselor chimice a progresat lent. În 1884—1886, van't Hoff a generalizat metoda lui Horstmann pentru a o putea aplica la studiul echilibrelor chimice în care intervin gaze și soluții diluate.

Metoda lui van't Hoff, legată de metoda matematică dezvoltată de J. Willard Gibbs și H. Helmholtz, conducea la un procedeu eficace pentru studierea căldurilor de reacție, a temperaturilor și a echilibrelor. Această metodă a fost aplicată la reacțiile în gaze de către Fritz Haber (1868—1934), care a expus rezultatele obținute în lucrarea sa *Thermodynamik der Technische Gasreaktionen* în 1905.

A TREIA LEGE A TERMODINAMICII. Anumite dificultăți întîlnite în manipularea ecuațiilor termodinamicii au fost depășite de Walther Nernst, care a emis ideea că entropia unei substanțe cristaline pure este nulă la temperatura de 0°K. Nernst nu a reușit să demonstreze convingător această teorie, dar punctul său de vedere s-a dovedit capabil de largi aplicații. Această idee, numită al treilea principiu al termodinamicii, permite studierea echilibrelor chimice prin calcul, folosind anumite constante fizice, cum sînt căldura de ardere, căldurile specifice, temperaturile de tranziţie etc.

Folosirea acestei legi a scos în evidenţă totuşi imprecizia datelor fizice referitoare la elementele şi compuşii chimici. De aceea, la începutul secolului al XX-lea, a început un vast program de cercetări pentru a îmbunătăţi determinările experimentale ale constantelor fizice. Acest efort, destinat furnizării de date suficient de precise pentru necesităţile termodinamicii, a atras după sine perfecţionarea unor numeroase instrumente şi punerea la punct a unor noi metode.

INFLUENŢA PUNCTULUI DE VEDERE TERMODINAMIC. Tratarea termodinamică a problemelor de echilibru a avut un mare răsunet şi a permis obţinerea de progrese în toate ramurile chimiei. Nernst şi G.N. Lewis au încercat, în special, să folosească termodinamica la studiul pilelor electrochimice. În chimia analitică, punctul de vedere termodinamic a permis fundamentarea studiului reacţiilor de precipitare, a interpretării echilibrelor de disociere ale bazelor şi acizilor slabi şi mai ales a teoriei indicatorilor coloraţi. Şi alte ramuri ale chimiei au fost influenţate de termodinamică. Publicarea în 1924 a lucrării lui G.N. Lewis şi M. Randall *Thermodynamics and free energy of chemical substances* reprezintă o etapă importantă în această direcţie.

A treia lege a fost imediat aplicată pentru rezolvarea unor probleme foarte diferite.

Nernst a folosit-o la calculul temperaturii de tranziţie a sulfului rombic în sulf monoclinic, pornind de la căldurile specifice şi de la căldura de transformare la volum constant. J. T. Baker a efectuat calculul temperaturii de topire a sărurilor simple, în timp ce hidratarea sărurilor a fost studiată de J. Thomsen. Alte cercetări au permis folosirea acestei legi la diferite sisteme omogene şi eterogene, ca şi la forţa electromotoare a pilelor voltaice.

Haber a reuşit să aplice principiile echilibrului chimic la studiul reacţiei de sinteză a amoniacului pornind de la azot şi hidrogen.

Carl Bosch a pus la punct un procedeu de fabricare comercială pentru firmele „Badische Anilin" şi „Soda Fabrik". Acest prim succes la scară mare, bazat pe folosirea termodinamicii chimice, a servit drept exemplu pentru numeroase alte aplicaţii realizate în industria chimică şi în special în industria petrolului.

În timpul ultimului deceniu al secolului al XIX-lea, s-a acordat o mare atenţie obţinerii temperaturilor foarte joase, principiile termodinamicii jucînd un rol fundamental în perfecţionarea metodelor de lichefiere a gazelor.

Hidrogenul, al cărui punct de fierbere este de 22°K, a fost lichefiat în 1898 de James Dewar. Gazul fiind răcit sub temperatura sa de inversie Joule-Thomson (193°K), metoda Linde a permis apoi scăderea temperaturii sale sub cea critică (33°K). Heliul a fost lichefiat, la rîndul său, în 1908 în laboratorul criogenic de la Leyda, fundat de H. Kamerlingh Onnes. Pentru răcirea heliului sub punctul de inversie (100°K) a fost folosit hidrogenul lichid, după care răcirea suplimentară a fost obţinută cu ajutorul efectului Joule-Thomson. Folosind heliu lichid la presiuni foarte scăzute, laboratorul de la Leiden (Leyda) a reuşit să atingă temperatura de 0,84°K. La temperaturi de acest ordin, heliul lichid manifestă proprietăţi neaşteptate; astfel, el se poate urca pe pereţii vasului în care se află pentru a trece într-un alt vas apropiat; amintim de asemenea fenomenul supraconductibilităţii[5].

Un nou succes în apropierea de temperatura de zero absolut a fost obţinut în 1933 de William F. Giauque.

Giauque a efectuat experienţe asupra demagnetizării adiabatice a sulfatului de gadoliniu răcit la 1,5°K într-un cîmp magnetic de 8000 Oe. După anularea cîmpului magnetic, această sare şi-a pierdut spontan magnetismul şi, în urma creşterii entropiei astfel produse, temperatura a scăzut la 0,25°K. Tot prin această metodă s-a atins în 1950, în laboratorul de la Leiden, temperatura de 0,0014°K. În ciuda acestor succese, interpretarea teoretică a rezultatelor experimentale a arătat că temperatura de zero absolut este inaccesibilă.

3. Cinetica chimică

În ciuda succeselor pe care le-a obţinut în rezolvarea diverselor probleme teoretice şi tehnologice, termodinamica s-a dovedit insuficientă în abordarea studiului fazelor succesive ale reacţiilor, deoarece sistemele chimice erau considerate în echilibru, însă fără a ţine seamă de modul în care se atinge acest echilibru. În acest caz, trebuiau studiate vitezele şi mecanismele de reacţie.

PRIMELE IPOTEZE. Vitezele de reacţie au constituit obiectul unor studii sporadice în cursul secolului al XIX-lea, dar problema n-a trecut de stadiul empiric. Van't Hoff a încercat în 1884 să elaboreze ipoteza ciocnirii, sperînd să stabilească astfel legile care exprimă variaţia vitezei de reacţie în funcţie de concentraţie. Eforturile sale nu au avut un succes prea mare, datorită intervenţiei unor factori de perturbaţie, alţii decît temperatura şi concentraţia. În 1889, Arrhenius a introdus noţiunea de molecule active, admiţînd că în cursul ciocnirii pot reacţiona numai moleculele ce au un nivel de energie mult superior mediei. În ciuda acestei perfecţionări, teoria ciocnirilor nu a putut da satisfacţie deplină.

IPOTEZA „RADIAŢIEI". Ipoteza „radiaţiei", emisă înainte de 1919, pe baza lucrărilor lui Jean Perrin, sugera faptul că moleculele care se descompun în cursul reacţiilor monomoleculare se activează datorită energiei primite de la radiaţiile infraroşii provenite din pereţii vasului.

Încă din 1913, J. Perrin a fost preocupat de faptul că în reacţiile monomoleculare, vitezele de reacţie nu sînt determinate de frecvenţa ciocnirilor. W. Trautz în Germania şi C. McC. Lewis în Anglia au contribuit la dezvoltarea acestei teorii care, fiind primită cu entuziasm, a fost aplicată la numeroase cercetări. Studii amănunţite au dovedit totuşi că această ipoteză conducea la anumite concluzii incompatibile cu datele experimentale.

---

[5] Vezi şi studiul lui G. Allard (p. 233) şi al lui P. Marzin şi J. Le Mézec (p. 310).

În ciuda dificultăţilor întîlnite în găsirea unei explicaţii satisfăcătoare privitoare la energia de activare, s-a înregistrat totuşi un progres net în fundamentarea unei metode matematice care să permită studiul cineticii reacţiilor; cercetările întreprinse în această direcţie de R. Marcelin au fost deosebit de importante.

Marcelin a stabilit o formulă pentru transformările la temperatură constantă şi a încercat să deducă din legea de distribuţie o expresie a vitezelor de reacţie. Ecuaţia obţinută, care stabilea influenţa temperaturii asupra vitezelor de reacţie, a fost aplicată la sublimarea iodului şi naftalinei şi la evaporarea nitrobenzenului.

Zece ani mai tîrziu, H. Eyring a iniţiat cercetările care aveau să-l conducă la „teoria absolută a vitezelor de reacţie".

Folosind datele spectroscopice sau curbele potenţiale ale lui Morse, el a reuşit să calculeze energiile de activare. Metoda sa se baza pe studierea vitezelor proceselor chimice şi fizice, a tăriei legăturilor chimice şi a temperaturilor. Prin 1936, teoria lui Eyring a fost aplicată unor fenomene fizice, ca difuzia, viscozitatea şi plasticitatea. În cursul anilor următori, ea a fost folosită în procesele metalografice (inclusiv fluajul şi granularea), în procesele biologice, în fenomenele geologice (apariţia munţilor, mişcarea gheţarilor) şi în formarea polimerilor înalţi.

REACŢII ÎN LANŢ. Revenind la ipoteza ciocnirilor, F.A. Lindemann a stabilit matematic că, în primă aproximaţie, cinetica poate fi interpretată printr-un mecanism de ciocniri (1922). C. N. Hinshelwood a adus acestei ipoteze o serie de perfecţionări şi de corecţii în scopul precizării proceselor chimice elementare.

Determinarea mecanismului reacţiilor în lanţ a fost o etapă şi mai importantă. Cînd M. Bodenstein a iniţiat studiul formării acidului bromhidric pornind de la elemente, el spera să regăsească, din punct de vedere cinetic, modelul bimolecular elaborat la sfîrşitul secolului al XIX-lea în cazul formării acidului iodhidric. Dar, în noul caz, cinetica s-a dovedit cu totul diferită, iar mecanismul reacţiilor în lanţ n-a fost elucidat decît după cîţiva ani. Extinderea ipotezei lanţului de reacţii, care presupunea existenţa momentană a unor radicali liberi, ca metilul sau fenilul, a fost nefavorabil primită, deşi radicalii din seria trifenilmetilului fuseseră observaţi de M. Gomberg încă de la începutul secolului. Deşi acceptau existenţa unor radicali organici liberi mari, chimiştii refuzau să admită existenţa unor radicali mici de acest tip. Cercetările lui F.A. Paneth şi F. O. Rice (vezi p. 430) au condus totuşi la reexaminarea acestei probleme. Pe la mijlocul secolului, după ce mecanica cuantică a permis stabilirea faptului că astfel de radicali puteau fi stabili, a început să fie în general admisă existenţa radicalilor liberi pentru explicarea mecanismului reacţiilor. Această interpretare a fost deosebit de utilă în înţelegerea reacţiilor organice. N.M. Semenov, care a consacrat, după 1930, numeroase lucrări diverselor aspecte ale cineticii chimice, a jucat un rol fundamental în punerea la punct a teoriei reacţiilor în lanţ.

4. Teoria soluțiilor

TEORIA LUI ARRHENIUS. La începutul secolului al XX-lea, teoria disociației electrolitice a lui Arrhenius era larg acceptată, în ciuda faptului că nu putea fi folosită decît la soluțiile apoase și că numeroase probleme ridicate de această teorie rămîneau fără răspuns și păreau de nerezolvat. Numeroși elevi ai lui Ostwald au contribuit la dezvoltarea și la difuzarea ei. Ca răspuns la criticile formulate de chimiști, ca H. Armstrong din Anglia și L. Kahlenberg din Statele Unite ale Americii, cercetările asupra soluțiilor au fost continuate în mod activ în speranța de a putea fi fundamentate satisfăcător din punct de vedere teoretic. În realitate, teoria lui Arrhenius și studiul termodinamic al soluțiilor abordat de van't Hoff nu erau aplicabile decît la soluțiile apoase foarte diluate.

TEORIA DEBYE-HÜCKEL. În 1923, Peter Debye din Zürich și asistentul său E. Hückel au adus o perfecționare importantă acestei teorii. Era evident faptul că ionii sărurilor apăreau din transferul de electroni realizat în momentul formării compusului. Acest fapt crea aparența unei disocieri totale a sărurilor în ioni, în momentul dizolvării lor în apă. Totuși, măsurătorile de conductibilitate și de presiune de vapori arătau un grad de disociere cu mult mai mic de 100%. Debye și Hückel au admis că, datorită atracțiilor interionice, fiecare ion este înconjurat de o „atmosferă" de ioni de sarcini opuse. Ei au dedus o expresie a variației conductibilității echivalente în funcție de concentrația soluției[6]. Metoda lui Debye-Hückel a fost îmbunătățită în 1926 de norvegianul D. Onsager care a luat în considerare mișcarea browniană a ionilor. Totuși, dacă această teorie dă rezultate satisfăcătoare în studiul soluțiilor diluate, se poate afirma că problemele referitoare la soluțiile mai concentrate nu au primit încă o interpretare teoretică pe deplin satisfăcătoare.

5. Teoria acido-bazică

CONCEPȚIA CLASICĂ. Teoria disociației electrolitice a lui Arrhenius a dovedit legătura dintre proprietățile acizilor și prezența ionilor de hidrogen liberi precum și dintre proprietățile bazelor și existența ionilor de hidroxil liberi. Neutralizarea implică deci formarea apei prin combinarea ionilor H^+ și OH^-. Datorită faptului că apa prezintă o conductibilitate foarte redusă, se putea presupune că moleculele sale sînt slab disociate și că toate soluțiile apoase conțin deci ionii sărurilor dizolvate. Determinarea produsului ionic al apei ($1 \cdot 10^{-14}$) și evidențierea prezenței ionilor de hidrogen și de hidroxil în sistemele în echilibru au permis efectiv interpretarea acidității din punctul de vedere fundamental al concentrației în ioni de hidrogen. În 1909, danezul S.P.L. Sørensen a introdus noțiunea de *p*H; acest număr, care este cologaritmul concentrației ionilor de hidrogen, este cuprins între 0 și 7 pentru soluțiile acide, între 7 și 14 pentru soluţiile bazice şi este egal cu 7 pentru apă, care este neutră. Această noţiune s-a dovedit deosebit de comodă în chimia pură, în chimia industrială şi chiar în biologie.

---

[6] Această teorie este expusă mai amănunțit în studiul lui P. Marzin și J. Le Mézec (p. 289–291).

TEORIA LUI BRØNSTED. Deşi reuşise să explice aciditatea şi alcalinitatea soluţiilor apoase, teoria lui Arrhenius eşua complet atunci cînd trebuia să interpreteze noţiunile acid-bază din soluţiile neapoase. E.C. Franklin a arătat că astfel de fenomene de disociere se produc şi în sistemele lichide amoniacale, conducînd la formarea de ioni NH_4^+ şi NH_2^-. Se părea deci că între sărurile amoniacale şi amiduri aveau loc şi reacţii analoage neutralizărilor. S-a dovedit mai tîrziu că reacţii de acest tip se puteau produce şi în solvenţii neapoşi.

O concepţie mai generală a teoriei acido-bazice, care putea fi folosită şi la sisteme neapoase, a fost pusă la punct în cursul anului 1920, în special în urma cercetărilor teoretice ale danezului J.N. Brønsted şi ale englezului T.M. Lowry. După teoria lui Brønsted-Lowry, orice substanţă care poate ceda ioni de hidrogen este un acid, în timp ce orice substanţă care poate primi astfel de ioni este o bază:

$$\underset{\text{acid}}{A} \rightleftarrows \underset{\text{proton}}{H^+} + \underset{\text{bază}}{B} \; ;$$

B este considerat drept *baza conjugată* a acidului A.

Această teorie a permis o extindere considerabilă a noţiunilor de acid şi bază, deşi ea implica încă prezenţa protonilor în interiorul unor astfel de sisteme. Din această cauză, puteau fi consideraţi acizi şi baze atît moleculele cît şi ionii. Iată două exemple:

$$H.C_2H_3O_2 \rightleftarrows H^+ + C_2H_3O_2^-$$
$$NH_4^+ \rightleftarrows H^+ + NH_3$$

Curînd s-a observat că, sub această formă, protonii nu existau niciodată în stare liberă, fiind asociaţi solventului. Astfel, în cazul apei şi al amoniacului, au loc, într-o anumită măsură, următoarele reacţii:

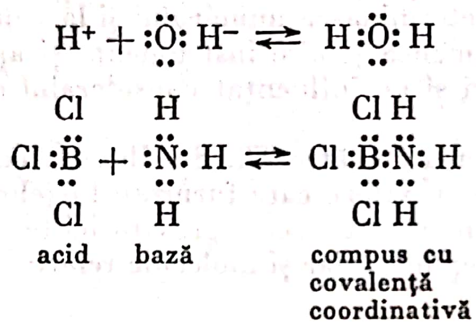
$$H_2O + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + OH^-$$
$$\underset{\text{acid}}{NH_3} + \underset{\text{bază}}{NH_3} \rightleftarrows \underset{\text{acid conjugat}}{NH_4^+} + \underset{\text{bază conjugată}}{NH_2^-}$$

Şi alţi acizi reacţionează cu solventul:

$$HCl + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + Cl^-$$
$$H.C_2H_3O_2 + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + C_2H_3O_2^-$$
$$NH_4^+ + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + NH_3$$
$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$$
$$H_2O + CN^- \rightleftarrows HCN + OH^-$$

După teoria lui Brønsted, aceeaşi moleculă sau acelaşi ion se pot comporta fie ca acizi, fie ca baze, în funcţie de capacitatea de a ceda sau de a primi protoni ai substanţelor cu care reacţionează.

TEORIA LUI LEWIS[7]. Alte cercetări au dovedit existenţa unor sisteme analoage în care hidrogenul nu figura deloc; astfel, fosgenul lichid se disociază în ioni CO^{++} şi Cl^-, iar anhidrida sulfuroasă lichidă se comportă ca un sistem slab disociat ($2\,SO_2 \rightleftharpoons SO^{++} + SO_3^{--}$). Încă din 1923, G.N. Lewis a schiţat o teorie generalizată care să permită includerea acestor sisteme în cadrul unei teorii acido-bazice; ea nu a fost pe deplin elaborată decît în 1938. Sidgwick a contribuit de asemenea la punerea la punct a acestei concepţii. Conform teoriei lui Lewis, orice acceptor de electroni este un acid şi orice donor de electroni este o bază.

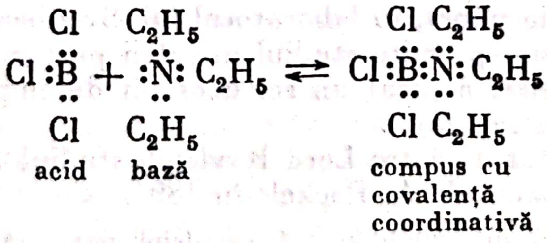


$$H^+ + :\ddot{\underset{..}{O}}:H^- \rightleftharpoons H:\ddot{\underset{..}{O}}:H$$

$$Cl:\overset{Cl}{\underset{Cl}{B}} + :\overset{H}{\underset{H}{N}}:H \rightleftharpoons Cl:\overset{Cl}{\underset{Cl}{B}}:\overset{H}{\underset{H}{N}}:H$$

Cercetările efectuate asupra diferitelor soluţii neapoase, în special cercetările lui C.A. Kraus şi E.C. Franklin, au dovedit că proprietăţile acid-bază pot apărea şi în absenţa protonilor. Astfel se poate observa o reacţie de neutralizare într-o soluţie de tip clorură de bor în clorobenzen dacă se adaugă trietilamină în prezenţa unui indicator, cum ar fi cristal violetul[8].

Conform teoriei lui Lewis, neutralizarea este rezultatul formării unei molecule cu covalenţă coordinativă.



$$Cl:\overset{Cl}{\underset{Cl}{B}} + :\overset{C_2H_5}{\underset{C_2H_5}{N}}:C_2H_5 \rightleftharpoons Cl:\overset{Cl}{\underset{Cl}{B}}:\overset{C_2H_5}{\underset{C_2H_5}{N}}:C_2H_5$$

---

[7] Prin teoria lui Lewis termenul de *bază* îşi păstrează vechiul înţeles, dar termenul *acid* capătă unul nou. Teoria lui Lewis este mai cuprinzătoare decît teoria protolitică a acizilor şi bazelor după Brønsted, sub numele de acid incluzîndu-se şi molecule ce nu pot ceda protoni, dar au locuri vacante pentru a putea primi electroni în stratul lor de valenţă. (De ex. SO_3, BF_3, Ag^+, $AuCl_3$ etc.)

Pentru teoria acido-bazică s-au mai propus şi alte definiţii de către M. Usanovici (1939 şi 1954), J. Bjerrum (1951) ş.a. (*C.G.M.*)

[8] Colorant din grupa trifenilmetanului (hexametil-*para*-rozanilină). (*N.R.*)

6. Chimia suprafeţelor (coloizii)

ORIENTAREA CERCETĂRILOR. Datorită faptului că particulele coloidale posedă o suprafaţă totală considerabilă raportată la unitatea de masă, chimia coloizilor şi chimia suprafeţelor sînt foarte strîns legate; din această cauză, în cursul secolului al XX-lea, aceste două ştiinţe au cunoscut un avînt comun. La începutul secolului, chimiştii erau interesaţi în special în studiul anumitor sisteme tipice: metale sub formă de dispersie, sulfuri şi oxizi hidrataţi. În cursul perioadei care a urmat, preocupările s-au orientat mai mult asupra moleculelor mari, în special asupra celor care constituie proteinele şi hidraţii de carbon complecşi. Pe la mijlocul secolului s-a acordat un interes cu totul special moleculelor sintetice de dimensiuni coloidale.

NOI APARATE. Ultramicroscopul, pus la punct de R. Zsigmondy la începutul secolului, a fost utilizat cu succes la determinarea numărului şi la studiul comportării particulelor coloidale. De asemenea şi alte instrumente şi aparate au contribuit efectiv la anumite cercetări şi au influenţat considerabil orientarea acestora.

În 1920 a fost realizată ultracentrifuga de către Th. Svedberg. Acest aparat a permis rotirea suspensiilor coloidale cu viteze care furnizau forţelor de sedimentare o valoare de 240 000 ori mai mare decît cea a gravitaţiei terestre. Sub influenţa unor astfel de forţe se pot depune chiar şi molecule relativ mici, cum sînt cele de zaharoză.

Această sedimentare poate fi observată prin determinarea variaţiei indicelui de refracţie, care apare pe măsură ce scade deosebirea dintre soluţia coloidală şi solventul pur. În cursul analizei amestecurilor coloidale este posibil să se observe vitezele de sedimentare ale diferiţilor compuşi. Această metodă s-a dovedit extrem de utilă la studiul proteinelor din plasma sanguină. În cursul ultimilor ani, ultracentrifuga lui Svedberg a cedat locul altor tipuri de ultracentrifuge, mai puţin costisitoare, care funcţionează cu aer comprimat sau cu electricitate şi care permit obţinerea unor rezultate analoage.

După 1937, A. Tiselius a pus la punct, în laboratorul lui Svedberg, metoda electroforezei. Această metodă care permite studiul migrării particulelor coloidale încărcate într-un cîmp electric a jucat un rol deosebit de important în separarea proteinelor din plasma sanguină.

În anii următori a fost dezvoltat de către Lord Rayleigh studiul straturilor monomoleculare, iniţiat în Germania de A. Pockels în 1891.

S-a observat că unele substanţe puţin solubile în apă, ca uleiul, pot fi răspîndite pe suprafaţa apei, determinînd o micşorare a tensiunii superficiale a acesteia, chiar într-o cantitate atît de mică încît să formeze un strat monomolecular. I. Langmuir a construit o balanţă care permitea măsurări precise asupra unor straturi, ca cele formate de acizii graşi şi de alcoolii cu lanţ lung de atomi de carbon. Rezultatele obţinute de Langmuir în Statele Unite ale Americii şi de N. K. Adam în Anglia, referitoare la dimensiunile moleculelor acizilor graşi şi la alte substanţe s-au dovedit a fi în concordanţă cu valorile calculate prin metoda difracţiei radiaţiilor X. Rezultate importante s-au mai obţinut şi în studiul moleculelor complexe, cum sînt steroizii şi proteinele. Cercetările lui E. K. Rideal din Cambridge asupra straturilor monomoleculare au furnizat amănunte interesante asupra pereţilor celulari, asupra reacţiilor imunologice şi asupra comportării toxinelor.

ADSORBŢIA PE CORPURI SOLIDE. Numeroase cercetări au fost efectuate asupra adsorbţiei pe suprafeţele solidelor; interesul acordat acestui fenomen se datoreşte în special faptului că aceste cercetări s-au dovedit foarte utile în studierea comportării catalizatorilor. Majoritatea acestor cercetări se referă la adsorbţia gazelor, dar unele au fost îndreptate şi în direcţia studiului adsorbţiei componentelor unor soluţii, fenomen care joacă un rol important în cursul purificării soluţiilor, în laboratoare sau în industrie, şi care este implicat în cromatografie.

Balanţa pusă la punct în laboratorul lui J. McBain a fost foarte mult folosită la măsurarea gravimetrică a adsorbţiei pe solide. S-au folosit de asemenea şi metode volumetrice. Aceste cercetări au dovedit că există două mecanisme de adsorbţie, unul fizic şi altul chimic; adsorbţia chimică încetează în momentul în care s-a format un strat monomolecular, în timp ce în adsorbţia fizică pot interveni straturi multimoleculare.

În 1916, Langmuir a propus prima teorie de ansamblu a adsorbţiei gazelor pe corpuri solide; în această teorie intervenea o izotermă a cărei deducere a provenit din tratarea cinetică a condensării şi evaporării moleculelor gazoase la suprafaţa solidului. Adsorbţia din soluţii n-a putut fi explicată la fel de satisfăcător, deşi în numeroase cazuri faptele experimentale ar fi putut fi interpretate cu ajutorul izotermei empirice propusă în 1909 de H. K. Freundlich.

D. CHIMIA ANALITICĂ

1. Tendinţe generale

SITUAŢIA CHIMIEI ANALITICE ÎN 1900. La începutul secolului al XX-lea, chimia analitică nu era altceva decît un instrument destul de modest în slujba altor ramuri ale chimiei. Metode gravimetrice şi volumetrice satisfăcătoare erau folosite la analiza numeroaselor substanţe minerale. Metodele de analiză elementară a carbonului, hidrogenului, azotului, halogenilor şi sulfului, elemente conţinute în compuşii organici, erau de asemenea folosite cu succes, deşi metodele de determinare a grupărilor funcţionale lăsau mult de dorit.

Numeroase procedee analitice de rutină s-au dezvoltat într-un mod cu totul empiric, deşi cunoştinţele recent dobîndite asupra echilibrului chimic au confirmat soliditatea metodelor stabilite şi au pus în evidenţă noi principii capabile de a îmbunătăţi procedeele nesatisfăcătoare. Metodele instrumentale nu jucau decît un rol foarte limitat. Polarimetrul şi zaharimetrul erau folosite de peste o jumătate de secol în analiza compuşilor optic activi. Colorimetrul era folosit la compararea culorii anumitor probe cu cele ale soluţiilor etalon. Spectroscopul era folosit în analiza calitativă şi, mai puţin, în studiile cantitative.

INFLUENŢA CHIMIEI FIZICE. Caracteristicile chimiei analitice s-au modificat considerabil în cursul secolului al XX-lea. La începutul secolului, avîntul chimiei fizice a permis un studiu teoretic al metodelor gravimetrice şi volumetrice tradiţionale. Noţiunile de echilibru apărute în cercetările efectuate asupra soluţiilor au jucat un rol important în înţelegerea reacţiilor de precipitare şi a metodelor de titrare. Noţiuni noi, ca cele de produs de solubilitate, de *p*H, de efect ionic comun, de efect tampon şi de echilibru ionic complex, au fost de asemenea foarte folositoare, permiţînd o mai bună interpretare a diverselor procedee analitice, calitative sau cantitative.

Explicaţia mecanismului indicatorilor a fost abordată încă din 1891, de W. Ostwald, care a schiţat o primă teorie; deşi puţin satisfăcătoare, aceasta a deschis calea considerării indicatorilor ca pseudoacizi şi pseudobaze de către A. Hantzsch. Treptat s-a stabilit influenţa concentraţiei de ioni de hidrogen asupra variaţiilor de culoare, ceea ce a dovedit importanţa titrării la un *p*H bine definit. Monografia indicatorilor coloraţi, publicată în 1914 de N. Bjerrum, conţine o interpretare corectă a hidrolizei sărurilor.

2. Microanaliza

Deşi anumite metode analitice, aplicabile la cantităţi mici, au fost folosite de mult timp (testul lui Marsh pentru arseniu, metoda lui Nessler pentru amoniac), abia în cursul secolului al XX-lea microanaliza a devenit o metodă curent folosită. F. Emich (1860—1940) din Graz a pregătit avîntul micrometodelor cantitative prin reducerea dimensiunilor aparatelor de analiză şi printr-o adaptare a metodelor la eşantioane de numai cîteva miligrame. Emich a încercat de asemenea să generalizeze utilizarea analizei în picături pentru identificarea substanţelor anorganice. Dar cel care a contribuit cel mai mult la extinderea aplicaţiilor analizelor de acest gen, efectuate cu ajutorul diferiţilor reactivi organici şi anorganici, a fost mai ales F. Feigl, care a lucrat întîi la Viena şi apoi în Brazilia.

Prin 1910, F. Pregl (1869—1930), tot din Graz, a reuşit să reducă la o scară foarte mică operaţiile clasice de analiză organică. Metodele clasice folosite pentru carbon şi hidrogen, metoda lui Dumas pentru azot şi metoda lui Carius pentru sulf şi halogeni, au fost astfel reduse la microoperaţii. Aparate speciale au fost puse la punct pentru microdeterminarea punctului de topire, scăderea punctului de congelare, precum şi pentru creşterea punctului de fierbere.

Micrometodele[9] s-au răspîndit rapid în analiza organică, deoarece posibilitatea oferită de ele de a lucra cu probe foarte mici de substanţă constituia un avantaj considerabil, în special în anumite analize biologice.

Progresele realizate în studiul fenomenelor radioactive au făcut necesară introducerea unor metode analitice noi, „ultramicrometode“, mult mai sensibile decît cele utilizate pînă acum. Datorită perfecţionării micrometodelor existente, utilizării unor aparate special concepute şi folosirii unor metode noi, a devenit posibilă analiza unor probe mai mici de un microgram sau o unitate gamma (Benedetti-Pichler, 1950).

---

[9] La acest domeniu, al microanalizei prin picături, a adus remarcabile contribuţii şi savantul sovietic N. A. Tananaiev (1879—1959) *(C.G.M.)*.

3. Metode instrumentale

TENDINŢE GENERALE. Secolul al XX-lea a dovedit că instrumentele de tipul refractometrului, polarimetrului şi spectroscopului puteau juca un rol important în chimia analitică, dar în primul sfert al secolului al XX-lea aceste tehnici instrumentale nu constituiau decît obiectul unor perfecţionări de importanţă redusă. Dimpotrivă, cel de al doilea sfert al secolului al XX-lea a fost martorul realizării unor progrese enorme în acest domeniu, care au modificat profund natura chimiei organice. La originea acestei adevărate revoluţii în metodele de analiză stau două cauze principale, care nu aveau legătură cu chimia: punerea la punct a unor aparate electronice foarte sensibile şi utilizarea lor foarte diversificată, precum şi dezvoltarea rapidă a maşinilor electronice de calcul cu posibilităţi imense.

În timp ce perfecţionarea anumitor metode clasice, ca polarimetria (C. Djerassi), studiul dicroismului circular (Legrand) etc., a extins considerabil domeniul lor de utilizare, au mai fost introduse numeroase şi importante metode noi.

POLAROGRAFIA. Născut din cercetările asupra electrodului picător, efectuate începînd cu anul 1922 de J. Heyrovsky din Praga, polarograful a fost folosit cu succes în determinarea diferiţilor ioni anorganici în concentraţii mici şi a grupărilor organice uşor reductibile. De asemenea, polarografia stă şi la baza titrărilor amperometrice (Kolthoff, 1939).

METODE SPECTROFOTOMETRICE. Metodele colorimetrice tradiţionale, cu un pronunţat caracter empiric, au fost folosite pînă prin anul 1930, cînd s-a răspîndit folosirea spectrofotometrelor. Datorită filtrelor, prismelor sau reţelelor s-au putut realiza iluminări aproape monocromatice, efectuîndu-se cercetări în condiţii apropiate de cele impuse de legea lui Beer-Lambert[10]. Pe lîngă aceasta celulele fotoelectrice au permis măsurarea intensităţii luminii transmise cu o precizie cu mult superioară celei permise de examinarea vizuală. Această punere la punct a unor instrumente mai perfecţionate a stimulat studierea unor noi reactivi colorimetrici şi a unor posibilităţi de folosire mult mai variate. Progresele instrumentale au permis de asemenea generalizarea utilizării acestor procedee dincolo de spectrul vizibil, în special în domeniile ultraviolet şi infraroşu.

SPECTROSCOPIA ÎN INFRAROŞU. Pentru efectuarea analizei prin absorbţie, au fost puse la punct instrumente care folosesc energia radiantă corespunzătoare domeniului infraroşu, care se întinde dincolo de domeniul vizibil, de la aproximativ 0,78 μ pînă la 300 μ.

---

[10] J. H. Lambert (1828—1877) şi A. Beer (1825—1863) *(C.G.M.)*.

Datorită faptului că acest domeniu spectral conţine frecvenţe asemănătoare cu cele implicate în vibraţiile structurilor moleculare, se pot studia masele atomice, forţele de legătură dintre ele şi configuraţiile moleculare; de asemenea se pot identifica prin această metodă anumite grupări dotate cu benzi de absorbţie caracteristice. Spectroscopia în infraroşu s-a dovedit extrem de utilă în chimia organică; ea a jucat de asemenea un rol important în studiul anumitor compuşi anorganici.

DIFRACŢIA RADIAŢIILOR X ŞI A ELECTRONILOR. Deşi radiaţiile nu au ocupat un loc important în metodele analitice convenţionale, ele au jucat însă un rol esenţial în studierea structurii cristalelor[11]. Deoarece ipoteza lui M. von Laue (1912)[12] privitoare la difracţia radiaţiilor X pe păturile atomice ale unui cristal a fost confirmată experimental, difracţia radiaţiilor X a devenit rapid o metodă foarte importantă în studiul structurii cristalelor. De asemenea în studiul structurii diferitelor substanţe a fost folosită şi difracţia electronilor.

SPECTROMETRIA DE MASĂ. Această metodă s-a născut din cercetările lui J.J. Thomson, care a folosit în 1912 o combinaţie de cîmp magnetic şi cîmp electrostatic, pentru a separa ionii în mişcare în funcţie de masele lor. Ionii caracterizaţi de acelaşi raport între sarcină şi masă (e/m) produc o urmă parabolică pe o placă fotografică. De exemplu, în cazul neonului, J.J. Thomson a observat două pete pe placa fotografică, corespunzînd maselor 20 şi 22. După primul război mondial, Francis Aston, asistentul lui Thomson, a reluat studiul acestei anomalii şi a stabilit că în natură există doi izotopi ai neonului.

Spectrograful de masă al lui Aston, bazat pe trecerea succesivă a ionilor prin cîmpuri electrostatice şi magnetice, permite acumularea, în acelaşi punct al plăcii fotografice, a tuturor ionilor cu acelaşi raport e/m şi mărirea considerabilă, pe această cale, a sensibilităţii determinărilor. Mai tîrziu s-a demonstrat că numeroase elemente există în natură sub formă de amestecuri de izotopi. Un aparat conceput în 1917 de A. J. Dempster de la Universitatea din Chicago foloseşte principii analoage, dar lucrează cu ioni avînd aceeaşi viteză. Abundenţa diferiţilor izotopi se măsoară electric. Acest aparat, care a fost denumit spectrometru de masă, este mai bine adaptat la determinarea proporţiilor respective ale diverşilor izotopi decît instrumentele lui Aston.

În cursul următoarelor două decenii, aceste două tipuri de aparate au cunoscut perfecţionări importante care au permis o determinare mult mai precisă a maselor izotopice şi a proporţiilor în care se află izotopii. În 1940, s-a întrevăzut posibilitatea utilizării acestor aparate la noi cercetări.

În special biochimiştii doreau să folosească izotopi stabili, ca azotul-15, carbonul-13 şi oxigenul-18, ca trasori în experienţe asupra metabolismului. Aminoacizii marcaţi cu azot-15 pot fi, de exemplu, introduşi în hrana animalelor cu care se experimentează. Aceste animale sînt apoi sacrificate, iar azotul, recuperat prin arderea anumitor porţiuni din ţesuturile lor, este introdus într-un spectrometru de masă care permite să se determine dacă aminoacizii studiaţi s-au depus efectiv; de asemenea, se pot izola anumiţi aminoacizi, analizîndu-se conţinutul lor în azot-15, pentru a stabili dacă au participat la transferul azotului.

---

[11] Vezi studiul lui J. Orcel (p. 474–477).

[12] M.v. Laue (1879–1960) *(C.G.M.)*.

Detectarea acestor izotopi a fost efectuată la început cu spectrometre de masă curente. Abia după 1945, în urma realizării unor importante progrese instrumentale care au marcat perioada de după cel de-al doilea război mondial, au început să fie folosite aparate proiectate special în acest scop.

Aceste spectrometre de masă s-au dovedit foarte utile în analiza amestecurilor complexe de molecule, ca cele care apar în fracţiunile petrolului sau în alte substanţe. În anumite cazuri, analiza unor cantităţi minime a furnizat informaţii preţioase asupra structurii unor substanţe organice naturale relativ complexe.

REZONANŢA MAGNETICĂ NUCLEARĂ. O proprietate descoperită recent, rezonanţa magnetică nucleară[13], a cunoscut deja aplicaţii importante în domeniul instrumental. Primele studii efectuate asupra momentului magnetic al particulelor nucleare au jucat un rol important în dezvoltarea fizicii nucleare. Cercetările lui F. Bloch şi E.M. Purcell au permis punerea la punct a unor metode de măsurare a frecvenţelor de absorbţie nucleară a anumitor forme de energie. Aceste metode joacă un rol important în studiul evoluţiei reacţiilor chimice şi în folosirea anumitor procedee de identificare şi de analiză, în special în chimia organică.

REZONANŢA ELECTRONICĂ. Sovieticul E. Zavoiski a observat în 1944 că rezonanţa electronică de spin se poate manifesta la molecule care conţin electroni neîmperecheaţi[14]. Într-un cîmp magnetic variabil, astfel de molecule paramagnetice absorb energie la anumite valori particulare, sub acţiunea unei schimbări a direcţiei momentului magnetic al spinului electronic. În timp ce, în analiza clasică, rezonanţa electronică nu-şi găseşte nici o utilizare, ea şi-a dovedit utilitatea în studiul radicalilor liberi şi a ionilor complecşi, furnizînd anumite informaţii structurale care nu pot fi obţinute prin alte metode.

4. Cromatografia

CROMATOGRAFIA DE ADSORBŢIE. Deşi adsorbţia diferenţiată a substanţelor colorate pe hîrtie de filtru fusese folosită cu totul ocazional, în diverse încercări, abia la sfîrşitul secolului al XIX-lea acest fenomen a început să constituie obiectul unui studiu sistematic. În acest moment, diferiţi cercetători au observat variaţii în compoziţia anumitor soluţii cînd acestea traversau coloane de diverse pulberi: carbon, siliciu, oxid de aluminiu etc. Prin 1900, diverşi chimişti americani, ruşi şi germani au studiat posibilitatea separării fracţiunilor din petrol prin metode de adsorbţie.

---

[13] Vezi în legătură cu acest subiect studiul lui E. Bauer şi Herpin (pp. 249—250).
[14] *Ibidem* (pp. 250—253).

În primul deceniu al secolului, botanistul rus Mihail Ţvet (1872—1919) a folosit adsorbţia la separarea pigmenţilor vegetali. Dizolvînd extrasul studiat în eter de petrol, Ţvet a trecut această soluţie printr-o coloană de pulbere adsorbantă (celuloză, carbonat de calciu etc.) închisă într-un tub de sticlă. În coloană au apărut două tipuri de clorofilă, caroten şi xantofil, sub forma unor zone colorate; aceşti pigmenţi au fost apoi izolaţi prin separare mecanică şi dizolvare în alcool. Deşi Ţvet a utilizat în mare măsură cromatografia de adsorbţie în cercetările sale ulterioare, se pare că această metodă nu a mai fost utilizată deloc de alţi cercetători înainte de 1930, cînd Richard Kuhn a generalizat utilizarea ei la separarea diverselor produse naturale.

Specialiştii în chimie organică şi biochimie erau foarte interesaţi pe atunci în studierea pigmenţilor vegetali, a hormonilor sexuali, a acizilor biliari şi a porfirinelor şi a enzimelor. Din acest motiv cromatografia de adsorbţie a fost larg utilizată la separarea amestecurilor, la verificarea omogenităţii şi concentraţiei substanţelor care nu există decît în urme. Această metodă nu a fost totuşi uşor de adaptat la analiza cantitativă.

Datorită faptului că numeroşi compuşi organici sînt incolori, a apărut interesul pentru detectarea zonelor incolore ale coloanei. În 1934, a fost folosită în laboratoarele lui Karrer şi Winterstein fluorescenţa în ultraviolet. Trappe a observat că acidul silicic impregnat cu solvent îşi pierdea transparenţa în toate zonele adsorbante. Zechmeister (1936) a avut ideea de a scoate coloana de adsorbant din tub şi de a introduce în ea de-a lungul axului central, reactivi caracteristici cu ajutorul unui ac de seringă.

ANALIZA FRONTALĂ ŞI CROMATOGRAFIA PRIN ELUŢIE FRACŢIONATĂ. Aceste metode au fost introduse în Suedia puţin timp după 1940 de către A. Tiselius şi colaboratorii săi. Metoda analizei frontale implică măsurarea continuă a indicelui de refracţie al lichidului ce iese din coloană. Modificările acestui indice de refracţie reflectă schimbările de compoziţie ale substanţei dizolvate, antrenată de eluent în lungul coloanei. Această metodă s-a dovedit foarte utilă la separarea şi analiza cantitativă a soluţiilor zaharoase, a produselor de hidroliză ale proteinelor, a esterilor acizilor graşi şi a alcoolilor alifatici. Deşi este analoagă în principiu cu analiza frontală, cromatografia prin eluţie fracţionată realizează developarea cromatografiei cu ajutorul unui solvent adsorbit mai puternic decît substanţele care se găsesc deja în coloană. Datorită acestui fapt, zonele adsorbite iniţial sînt eliminate din coloană în momentul developării (a trecerii solventului); la ieşire soluţia este analizată prin măsurarea indicelui ei de refracţie.

CROMATOGRAFIA DE REPARTIŢIE. Prin 1941, englezii A.J.P. Martin şi R.L.M. Synge au observat că deşi amestecurile de aminoacizi pot fi separate prin repartiţie între două lichide nemiscibile, cum sînt apa şi cloroformul, care se deplasează în contracurent unul faţă de celălalt, se poate obţine o separare mai bună dacă unul dintre lichide este adsorbit pe o coloană de substanţă poroasă, cum ar fi un gel de siliciu. Această metodă a fost deosebit de eficace pentru separarea aminoacizilor, a acizilor dicarboxilici, a penicilinelor, a hexaclorohexanilor şi a acizilor graşi cu mase moleculare mici.

În 1943, A.H. Gordon, Martin și Synge au studiat utilizarea amidonului sau celulozei ca suport al fazei apoase, în cursul separării aminoacizilor; ei au descoperit că foile de hîrtie de filtru reprezentau un excelent suport pe care putea fi evidenţiată poziţia diferiţilor aminoacizi prin pulverizare de ninhidrină. Cromatografia de repartiţie pe hîrtie s-a dovedit de asemenea foarte utilă în separarea și identificarea compușilor intermediari ce apar în cursul formării hidraţilor de carbon, sau, mai general, în toate studiile de metabolism. Această metodă a putut fi aplicată la analiza substanţelor în cantităţi foarte mici (pînă la miimi de miligram)[15].

CROMATOGRAFIA ÎN FAZĂ DE VAPORI. Această nouă metodă a fost pusă la punct în 1952, în urma cercetărilor lui A.T. James și Martin. Ea reprezintă o variantă a cromatografiei de repartiţie în care faza mobilă este gazoasă. James și Martin au folosit ca fază lichidă uleiul de silicon și acidul stearic, care impregnau o coloană de kieselguhr pentru a separa faza de vapori formată din acizi grași volatili care se deplasau într-un curent de azot. Compoziţia în acizi a gazelor efluente era măsurată cu un sistem de detecţie potrivit.

James și Martin au adaptat această metodă analizei diverselor amine volatile și omologilor piridinei. Petrochimiștii au folosit de asemenea acest tip de cromatografie la analiza amestecurilor de hidrocarburi volatile. A fost pusă la punct o aparatură rezistentă la temperaturi înalte pentru analiza esterilor acizilor grași.

Pentru înregistrarea variaţiilor compoziţiei gazului efluent, au fost folosite diferite metode. Celulele de conductibilitate termică (catarometre) s-au dovedit deosebit de comode. Maghiarul S. Claesson a construit o balanţă pentru densitatea gazelor, în timp ce în laboratorul lui Martin a fost pus în funcţiune un analizor cu radiaţii infraroșii. Alţi detectori folosesc radioactivitatea, căldura specifică, potenţialul de suprafaţă, ionizarea într-o flacără de hidrogen și impedanţa curentului.

În cursul ultimilor zece ani, cromatografia în fază de vapori a devenit pentru chimia analitică un instrument important, cu aplicaţii variate, iar utilizarea ei s-a generalizat considerabil. Datorită acestei metode, s-au putut realiza, în mod curent, numeroase analize delicate: fracţionări ale petrolului, ale acizilor grași etc. și s-au efectuat analize ale substanţelor naturale, al căror studiu era pînă atunci dificil de executat și susceptibil de numeroase erori; de exemplu, substanţele care, în urme, sînt răspunzătoare de mirosul cepei, fragilor sau cărnii.

5. Izotopii în chimia analitică

UTILIZAREA LOR ÎN ANALIZĂ. Posibilitatea de a dispune de izotopi concentraţi, stabili sau radioactivi, a permis chimiei analitice să realizeze numeroase progrese, care altfel nu ar fi putut fi obţinute (vezi p. 396). Aplicaţiile analitice ale folosirii izotopilor se împart în două metode principale: analiza prin diluţie izotopică şi analiza prin activare. În general, pentru analiza prin diluţie izotopică sînt preferaţi izotopii radioactivi, deoarece pot fi detectaţi fără ajutorul unui spectrograf de masă.

---

[15] S-au urmărit noi aspecte și metodici pentru cromatografia pe hîrtie, în strat subţire sau pe coloană cu schimbători de ioni în gradient de temperatură, care duce la un coeficient mai bun de separare *(C.G.M.)*.

METODE DE DATARE. Metoda de datare cu carbon radioactiv a fost pusă la punct în 1949 de Willard F. Libby de la Universitatea din Chicago care, pentru a evalua vîrsta materialelor arheologice şi geologice, a folosit faptul că organismele vii conţin o proporţie constantă de carbon-14. Deoarece viaţa medie a carbonului-14 este 5760 ± 50 ani şi acest element nu mai este acumulat în plante şi animale după moartea lor, descreşterea activităţii carbonului poate fi corelată cu vîrsta unui obiect care conţine carbon.

Radioizotopii au fost folosiţi şi la datarea altor substanţe. Raportul dintre uraniu-238 şi plumb-206 a fost folosit pentru a evalua vîrsta rocilor care conţin uraniu. Harold Urey a studiat variaţiile climei în decursul erelor geologice, măsurînd concentraţia calcarului în oxigen-18. Libby a datat apa, vinul şi produsele agricole fosile prin măsurarea conţinutului lor în tritiu (^3H).

E. CHIMIA ANORGANICĂ

1. Avîntul chimiei anorganice

În cursul primei treimi a secolului al XX-lea, chimia anorganică n-a cunoscut decît o dezvoltare destul de redusă. Studiul ei nu prezenta pentru tinerii cercetători o atracţie prea mare în raport cu interesul pe care-l trezea chimia organică sau chimia fizică. În afara teoriei coordinării a lui Alfred Werner, care dealtfel a fost înţeleasă foarte greu, studiile urmate în această direcţie păreau să ofere un interes redus.

Această situaţie s-a schimbat brusc pe la mijlocul secolului nostru. Apariţia diferitelor teorii ale legăturii chimice a determinat studierea a numeroşi compuşi anorganici în scopul obţinerii unor elemente în favoarea uneia sau alteia din aceste teorii. Apariţia acceleratoarelor de particule a permis utilizarea izotopilor radioactivi pentru studierea problemelor care nu putuseră fi încă abordate pînă atunci. Cercetări de o amploare considerabilă, care au condus la producerea armelor nucleare, au suscitat o cerere imperioasă de elemente şi compuşi mai puţin obişnuiţi, ale căror proprietăţi trebuiau să fie studiate cu o grijă deosebită. Dezvoltarea industriei a condus de asemenea la noi aplicaţii ale diverselor elemente obişnuite, necesitînd însă în acelaşi timp şi anumite elemente mai puţin folosite. Datorită acestor factori diferiţi, cercetarea din chimia anorganică a fost puternic impulsionată.

2. Probleme de structură şi de legătură chimică

COMPLECŞII LUI WERNER. Starea de inactivitate în care s-a găsit chimia anorganică în cursul primelor trei decenii ale secolului al XX-lea s-a datorat în parte lipsei unei teorii satisfăcătoare asupra legăturii chimice. Deşi o astfel de teorie lipsea şi în chimia organică, aceasta reuşise să realizeze după 1860 progrese remarcabile datorită teoriilor structurale rezultate din ideile lui Kekulé, Butlerov, van't Hoff, Le Bel şi alţii. Dimpotrivă, specialiştii în chimie anorganică care luau în considerare numeroase elemente diferite au fost adesea induşi în eroare de o utilizare abuzivă a noţiunilor structurale ale organicienilor.

Cercetările elveţianului Alfred Werner (1866—1919), care au început în ultimul deceniu al secolului al XIX-lea, au deschis calea unei chimii anorganice structurale. Werner a întreprins un studiu al compuşilor „anormali", ca sărurile duble, hidraţii şi compuşii amoniacali de adiţie; ţinînd seama de conductibilitatea lor şi de diverse alte proprietăţi, el a ajuns la concluzia că, în aceste molecule, ionul metalului principal (centrul coordinator) este înconjurat de un număr constant şi caracteristic de molecule şi de ioni (numiţi, mai tîrziu, grupări sau „liganzi").

Astfel, în compusul cu formula $CoCl_3 \cdot 6NH_3$, cele şase molecule de NH_3 înconjură ionul de cobalt, de care sînt legate prin ceea ce Werner numeşte „legături secundare", formînd ionul $Co(NH_3)_6^{+++}$ care posedă o mare stabilitate.

Deşi deosebirea pe care el o făcea între valenţele primare şi cele secundare nu a fost înţeleasă în acea epocă, Werner a adus o oarecare clarificare în situaţia haotică în care se găsea atunci chimia complecşilor. El a reuşit să clasifice ionii metalici după numărul de grupări care îi înconjură (indice de coordinare sau de coordinanţă), să prevadă distribuţia spaţială a acestor grupări (plană, tetraedrică, octaedrică etc.) şi să explice formele de izomerie pe care le-a observat.

Studiile lui Werner asupra complecşilor şi ionilor metalici cu amoniacul, cu halogenurile, cu cianurile, cu azotiţii, cu etilendiamina, cu oxalaţii şi cu alţi „liganzi" au condus la un acord satisfăcător între observaţiile experimentale şi teoria structurală.

APORTUL TEORIEI ATOMICE. Explicarea formării ionilor complecşi n-a obţinut decît un succes foarte limitat, atît timp cît teoria structurii atomice nu realizase un progres clar în chimie. Legătura prin perechi de electroni şi analogia între structura gazelor inerte şi cea a straturilor electronice exterioare a permis interpretarea compuşilor ionici şi covalenţi, dar nu a putut explica legăturile formate de ioni mai complecşi sau de molecule.

Prin 1920, Sidgwick a arătat că dubletele electronice nepuse în comun ale unor atomi, ca oxigenul în apă, azotul în amoniac şi sulful în sulfuri, sînt potenţial disponibile pentru a se ataşa de atomi care posedă straturi electronice exterioare incomplete. În astfel de combinaţii, cei doi electroni ai dubletului se asociază aceluiaşi atom; acesta reprezintă un caz de covalenţă coordinativă (legătură coordinativă).

În cursul celui de al treilea deceniu al secolului al XX-lea, structura atomică a fost interpretată de mecanica cuantică, iar starea fiecărui electron a fost caracterizată prin patru numere cuantice: principal, azimutal, magnetic şi de spin.

Principiul de excluziune al lui W. Pauli preciza faptul că doi electroni dintr-un acelaşi sistem nu pot avea cele patru numere cuantice identice în acelaşi moment. Regula multiplicităţii maxime, enunţată de F. Hund în 1925, admite faptul că electronii umplu toate orbitele disponibile (denumite *s*, *p*, *d*, *f*) ale unei orbite inferioare date, înainte de a se asocia cu electronii de spin opus care ar putea apărea.

Teoria legăturii a început atunci să ia în considerare distribuţia electronilor din punctul de vedere al populării orbitelor. Cînd cei doi electroni asociaţi, de spini opuşi, de pe o orbită dată, provin de la doi atomi diferiţi, rezultă o legătură prin pereche electronică. Problema legăturii chimice a fost abordată, din punctul de vedere al mecanicii cuantice, de W. Heitler şi F. London, în 1927. Efectuat pe molecula de hidrogen, acest studiu a fost generalizat de Pauling şi Slater la sisteme mai complexe. Concepţia lui Heitler şi London, de inspiraţie esenţialmente atomică, se referea la concentraţia electronilor împerecheaţi între atomi legaţi, la proprietăţile direcţionale ale legăturilor şi la unele structuri moleculare care pun în valoare natura atomică originală a sistemului.

O interpretare oarecum diferită a fost dată de F. Hund, R.S. Mulliken şi J.E. Lennard-Jones cu ajutorul noţiunii de orbitali moleculari. Bazată pe comportarea unui electron în cîmpul produs de cele două nuclee ale unei molecule de hidrogen, această teorie prevede construirea moleculelor mai complexe, prin adăugarea de electroni orbitalilor succesivi, ca şi în sistemele atomice.

Aceşti autori au examinat comportarea probabilă a electronilor introduşi în cîmpul electric care înconjură două nuclee şi au tras concluzia că se poate presupune că în mecanismul de legătură intervine un sistem de orbitali moleculari. Electronii de legătură pot în acest caz să fie definiţi cu ajutorul unor numere cuantice moleculare, doi electroni de spin opus ocupînd un orbitai molecular şi participînd la legătura nucleelor. Această concepţie furniza o descriere mai puţin clară a legăturii; ea a fost totuşi folositoare în interpretarea anumitor tipuri de compuşi, în special a celor nesaturaţi.

În scopul de a obţine o explicaţie mai satisfăcătoare a proprietăţilor şi legăturilor electronice, diferiţi cercetători au încercat să caracterizeze electronul printr-o funcţie de undă asociată unei mişcări orbitale.

În această direcţie, Max Born a jucat un rol deosebit de important datorită interpretării sale statistice a funcţiilor de undă. J. C. Slater şi L. Pauling au adus numeroase contribuţii la interpretarea cuanto-mecanică a anumitor compuşi speciali.

Noţiunea de rezonanţă a fost introdusă de W. Heisenberg în 1926 în scopul interpretării stărilor cuantice ale atomului de heliu. Ea a fost imediat extinsă la problemele moleculare, deoarece simpla structură şi distribuţia electronică nu puteau explica proprietăţile moleculei. Fiind precizată prin lucrările lui Slater, Pauling şi E. Hückel, această noţiune s-a dovedit deosebit de utilă atît în chimia anorganică cît și în chimia organică, în care o simplă formulă statică nu permitea interpretarea tuturor proprietăților.

Noțiunea de caracter parțial ionic a fost de asemenea folositoare în interpretarea substanțelor ale căror proprietăți sînt intermediare între cele ale compușilor pur ionici și cele ale compușilor pur covalenți. După 1930, Pauling a reușit să stabilească legătura ce există între caracterul ionic al unei legături și diferența de electronegativitate a atomilor considerați.

LEGĂTURI SPECIALE. Pentru interpretarea dificilelor probleme ale legăturii chimice, au mai fost elaborate și alte noțiuni.

Modelul legăturii de hidrogen a fost propus de W. Latimer și W. H. Rodebush în scopul explicării proprietăților anormale ale apei, ale acidului fluorhidric, ale alcoolilor și ale altor compuși. Folosind spectroscopia și analiza cristalină, Sidgwick a arătat că legătura de hidrogen era prezentă și în numeroase alte cazuri. Pauling a stabilit că astfel de legături nu apar decît între atomi puternic electronegativi, ca cei de fluor, oxigen, azot și clor.

Și alte tipuri de legături prezintă interes. Astfel, legătura cu un electron a jucat un rol important în încercările de a înțelege structura hidrurilor de bor. De asemenea, legătura cu trei electroni a fost concepută în vederea explicării paramagnetismului moleculei de oxigen.

STAREA SOLIDĂ. Utilizarea cristalelor în calitate de rețele de difracție cu trei dimensiuni pentru radiațiile X a reînnoit interesul pentru studiul structurii cristaline. Succesul obținut în interpretarea structurii cristalelor simple, ca halogenurile alcaline, diamantul, grafitul și cuarțul, au permis abordarea studiului corpurilor solide mai complexe, anorganice și organice[16]. Cercetări deosebit de importante au fost efectuate asupra cristalelor complecșilor de silicați și de poliacizi: acizi silicowolframici, acizi fosfowolframici etc.

O noțiune folositoare în studiul formării proprietăților și stabilității compușilor ionici este cea a ciclului termodinamic, introdusă de M. Born și F. Haber în 1919.

Ciclul Born-Haber leagă energia cristalină de alte mărimi termodinamice, ca energia de ionizare a metalului, afinitatea electronică a nemetalului, căldura de sublimare a metalului, căldura de disociere a nemetalului și căldura de formare a compusului pornind de la elemente gazoase și disociate.

STAREA METALICĂ. În 1916, H.A. Lorentz a efectuat studiul teoretic al legăturii atomilor metalici. Acest studiu a fost reluat mult mai convingător de către Pauli după zece ani.[17]

---

[16] Vezi studiile lui A. Guinier (pp. 193—195) și J. Orcel (pp. 475—477).

[17] Încă din 1900, P. Drude a formulat o teorie completată de H. A. Lorentz în 1916, după care „legătura metalică“ era considerată ca fiind formată prin interacțiunea dintre ionii pozitivi și „gazul electronic“ (fluid de electroni liberi) în care erau scufundați atomii dezveliți de stratul exterior de electroni *(C.G.M.)*.

Datorită mecanicii cuantice, metalele au putut fi privite ca nişte „miezuri" atomice (nuclee înconjurate de straturi saturate cu electroni), înglobate într-o atmosferă de electroni care constituie forţa de legătură între „nuclee". Acest model s-a dovedit compatibil cu marea conductibilitate electrică şi cu diverse alte proprietăţi ale metalelor.[18]

Cercetări ulterioare au permis extinderea şi clarificarea noţiunilor relative la proprietăţile stării solide; acest domeniu este totuşi departe de a fi în întregime explorat. Compuşii intermetalici au constituit obiectul cercetărilor aprofundate ale lui G. Tamman, W.L. Bragg, H.A. Bethe şi W. Hume-Rothery. Semiconductoarele au condus de asemenea la un important curent de cercetări asupra stării solide[19].

3. Completarea şi extinderea tabelului periodic

GOLURILE TABELULUI PERIODIC. La începutul secolului al XX-lea, în tabelul periodic exista încă un număr important de goluri. Descoperirea gazelor inerte, efectuată în cursul deceniului precedent de către W. Ramsay şi J.W. Strutt (Lord Rayleigh, 1842—1919), nu a permis umplerea vreunui gol, deoarece elementele noi au trebuit să fie plasate într-o grupă suplimentară (grupa zero) din tabelul periodic. Elementele radioactive care au început să fie descoperite în acea perioadă au ridicat probleme dificile atîta timp cît nu s-a observat că ele reprezentau diferite variante ale unor elemente deja binecunoscute. Această dificultate a fost definitiv înlăturată după descoperirea izotopiei.

DESCOPERIREA ELEMENTELOR NECUNOSCUTE. Prin 1920, în tabelul periodic al elementelor se mai găseau şase căsuţe goale, corespunzătoare elementelor 43, 61, 72, 75, 85 şi 87, toate precedînd deci uraniul (elementul 92).

Deşi în marea lor majoritate elementele pămînturilor rare fuseseră descoperite înainte de 1895, ele continuau să ridice anumite dificultăţi. La începutul secolului al XX-lea, chimiştii nu ştiau cu siguranţă nici măcar numărul de elemente de acest tip, a căror existenţă trebuia presupusă. Această problemă a fost rezolvată în 1923; dar încă din 1914, lucrările lui Moseley au arătat că între neodim şi samariu (căsuţa 61 din tabelul periodic) există un element necunoscut. Acest element a fost asiduu căutat în jurul anului 1925, dar mai multe revendicări relative la descoperirea sa s-au dovedit nefondate. Abia în 1947, J.A. Marinsky, L.E. Glendenin şi Ch.D. Coryell l-au detectat în anumite reziduuri ale fisiunii nucleare, dîndu-i numele de prometiu.

Liniile spectrale ale elementului 72 au fost semnalate de G. Urbain în 1922 în reziduuri de pămînturi rare. Dar N. Bohr, bazîndu-se pe teoria cuantică, a afirmat că nu putea fi vorba de un element din rîndul pămînturilor rare. El a sugerat chiar lui G. von Hevesy că acest element 72 s-ar putea găsi în minereurile de zirconiu; după 1923, Hevesy şi D. Coster au reuşit să izoleze elementul necunoscut pe care l-au denumit hafniu şi care a confirmat astfel această prezicere.

---

[18] Pentru structura metalică, azi se consideră că, într-un metal compact, nivelele exterioare ale tuturor atomilor din bucata de metal se contopesc în „benzi de energie" mai largi (benzile lui Brillouin). În anul 1938, L. Pauling a presupus că între atomii dintr-un metal se stabilesc legături de doi electroni, care nu sînt fixe, ci se desfac şi se refac neîncetat între perechi de atomi vecini în reţea, care sînt în *rezonanţă*. Rezonanţa legăturilor nu este însă sincronizată. *(C.G.M.)*.

[19] În legătură cu acest subiect, vezi studiul lui A. Guinier (pp. 197—199) şi cel al lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 301—307).

Descoperirea elementelor 43 şi 75 a fost anunţată în 1925 de W. Noddack, I. Tacke şi O. Berg. Această revendicare s-a dovedit justificată în privinţa elementului 75, reniul, dar nu a fost confirmată în privinţa elementului 43. Acesta din urmă a fost detectat de E. Segré şi C. Perrier într-un eşantion de molibden care a fost bombardat timp de mai multe luni cu deuteroni într-un ciclotron. Acest element, care a fost mai tîrziu descoperit printre produsele de fisiune ale uraniului, a fost denumit tehneţiu de către Segré şi Perrier în 1947.

Între 1920 şi 1930, descoperirea elementelor 85 şi 87 a fost enunţată de mai multe ori, dar aceste informaţii s-au dovedit apoi inexacte. Abia în 1937, Marguerite Perey de la Laboratorul Curie a putut afirma cu certitudine existenţa elementului 87 ca produs de dezintegrare într-un preparat de actiniu. Numit iniţial actiniu K de către M. Perey, acest element a fost denumit apoi franciu. După 1940, D.C. Carson, K.R. Mackensie şi Segré de la Universitatea din California au obţinut elementul 85 prin bombardarea bismutului cu particule α. Dar acest rezultat preliminar nu a putut fi confirmat decît în 1947 cînd noul element a fost denumit astatiniu, datorită instabilităţii sale.

ELEMENTELE TRANSURANICE. În momentul în care tabelul periodic clasic era astfel completat, extinderea sa dincolo de uraniu fusese deja iniţiată.

În 1940, E. M. McMillan şi P. Abelson, din California, au izolat, dintr-o foiţă de uraniu bombardată cu neutroni, un izotop care emitea radiaţii β, care s-a dovedit a fi elementul 93 şi care a fost denumit neptuniu.

Elementul 94 (plutoniu) a apărut în mod vădit prin dezintegrarea β a neptuniului, dar scara redusă a primelor experienţe nu a permis detectarea sa. G. Seaborg, A. C. Wahl şi J. C. Kennedy au reuşit să-l obţină în cantităţi detectabile prin bombardarea uraniului cu deuteroni:

$$
\begin{aligned}
{}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{238}_{92}\mathrm{U} &\rightarrow {}^{238}_{93}\mathrm{Np} + 2n \\
{}^{238}_{93}\mathrm{Np} &\rightarrow {}^{238}_{94}\mathrm{Pu} + e^-
\end{aligned}
$$

Colectivul lui Seaborg de la Universitatea din California a obţinut de asemenea plutoniu-239 care s-a dovedit a fi fisionabil cu neutroni lenţi; ei au arătat mai tîrziu că plutoniul există în zăcămintele naturale de uraniu, în care a apărut probabil prin bombardarea întîmplătoare cu neutroni cosmici a acestuia şi prin dezintegrarea uraniului-239 astfel format.

În 1944, Seaborg, R. A. James şi A. Ghiorso au obţinut succesiv elementul 96, curiu (prin bombardarea plutoniului-239 cu particule α), apoi elementul 95, denumit americiu.

Elementul 97 (berkeliu) a fost obţinut în 1949 de Seaborg, Ghiorso şi S. G. Thompson, prin bombardarea americiului-241 cu helioni (particule α). În 1950, aceiaşi cercetători, împreună cu K. Street Jr., au obţinut elementul 98 (californiu) prin bombardarea elementului curiu-242 cu helioni.

Elementele 99 (einsteiniu) şi 100 (fermiu) au fost identificate iniţial în reziduurile de elemente grele provenite din explozia termonucleară experimentală din noiembrie

1952. Această lucrare, realizată de colective de la Argonne Laboratory şi de la Los Alamos Laboratory din California nu a fost dezvăluită de către U. S. Atomic Energy Commission decît în 1955. Articolul care prezintă această descoperire menţionează numele a 16 savanţi care au participat la ea.

Tot în 1955, Ghiorso, B. G. Harvey, G. R. Choppin, S. G. Thompson şi Seaborg au anunţat prepararea a 17 atomi din elementul 101, denumit mendeleeviu; el a fost obţinut prin bombardarea cu helioni a elementului einsteiniu-253. Un colectiv internaţional a anunţat în 1957 şi descoperirea elementului 102, dar acest rezultat nu a fost încă confirmat. În 1958, Ghiorso, T. Sikkeland, J. R. Walton şi Seaborg au anunţat producerea acestui element (sub forma izotopului-254), prin bombardarea elementului curiu-246 cu ioni de carbon-12, acceleraţi în acceleratorul liniar de ioni grei al Universităţii din California. G. N. Flerov şi colectivul său din U.R.S.S. au semnalat descoperirea unui izotop asemănător prin bombardarea plutoniului cu ioni de oxigen.

Elementul 103 (lawrenciu) a fost obţinut în 1961 prin bombardarea californiului cu nuclee de bor de Ghiorso împreună cu alţi patru colaboratori de la Universitatea din California.

Studiul proprietăţilor chimice ale elementelor transuranice a arătat că acestea sînt strîns înrudite cu elementele din a doua jumătate a seriei pămînturilor rare.

Această înrudire, datorită ocupării complete a orbitelor 5*f*, se extinde de fapt şi la elementele anterioare uraniului pînă la actiniu (elementul 89), dar analogia cu elementele corespunzătoare nu este prea netă; înainte de descoperirea elementelor transuranice artificiale, elementele actiniu, toriu, protactiniu şi uraniu era considerate ca fiind analoage elementelor tranziţionale obişnuite.

4. Domenii speciale de cercetare

ELEMENTELE PĂMÎNTURILOR RARE. În prima partea secolului nostru, studiul elementelor din grupul pămînturilor rare a prezentat un mare interes, deoarece marea lor asemănare ridica o problemă chimică interesantă.

La începutul secolului, mai rămăseseră cîteva identificări de realizat. Samariul, descoperit în 1886 de Boisbaudran, a fost separat în două componente, samariu propriu-zis şi europiu, de către E. A. Demarçay în 1901. Yterbiul lui Marignac a fost separat în neoyterbiu (mai tîrziu yterbiu propriu-zis) şi luteţiu de către G. Urbain în 1907. C. Auer von Welsbach a obţinut aceeaşi separare, în timp ce luteţiul a fost preparat şi în America de Ch. James.

Toate descoperirile de pămînturi rare erau astfel terminate afară de elementul 61, dar acest lucru nu s-a observat de la început.

Interesul arătat acestor elemente a scăzut în deceniile următoare deşi în laboratoarele lui Urbain, Welsbach, James şi B. S. Hopkins au fost continuate cercetări sistematice. Lămurirea structurii lor electronice a permis stabilirea faptului că marea lor asemănare se datoreşte faptului că orbitalele lor 4*f* se completează treptat cu electroni, pînă la ocuparea totală.

Cercetările consacrate energiei nucleare în cursul celui de-al doilea război mondial au arătat că fisiunea uraniului producea numeroase fragmente bogate în izotopi care se găseau în regiunea pămînturilor rare din tabelul periodic. Din fericire, punerea la punct a metodelor de schimb ionic a permis separarea comodă a cationilor pămînturilor rare.

Fixînd aceşti cationi în complecşi organometalici sub formă de citraţi şi controlînd atent pH-ul, s-au putut realiza în mod curent separări ale elementelor cu numere atomice succesive cu ajutorul răşinilor schimbătoare de ioni. După război, F. H. Spedding de la Institute for Nuclear Studies de la Iowa State College a efectuat separarea acestor elemente în cantităţi importante în scopul iniţierii unui studiu sistematic al chimiei şi metalurgiei lor.

PROGRESE ÎN CUNOAŞTEREA ŞI UTILIZAREA METALELOR. În timp ce multe elemente nu constituiau decît obiectul unor studii de mică amploare, aceste cercetări au fost brusc stimulate de descoperirea fisiunii nucleare. Dezvoltarea acestei metode necesita de fapt obţinerea de informaţii precise asupra diverselor elemente care pînă atunci nu prezentaseră decît un interes limitat; ea a permis de asemenea obţinerea unor elemente care nu au putut fi izolate decît cu mari dificultăţi. Reziduurile apărute în timpul fisiunii uraniului-235 şi plutoniului-239 au furnizat cantităţi apreciabile de izotopi, situaţi în tabelul periodic în regiunea dintre kripton şi pămînturile rare. Disponibilitatea radioizotopilor a stimulat de asemenea, în toate domeniile chimiei anorganice, numeroase cercetări care altfel ar fi fost dificile, dacă nu imposibile.

De asemenea, în cursul secolului nostru s-a manifestat o reînnoire a interesului pentru anumite metale cunoscute de mult timp, dar care, fiind puţin folosite pînă acum, nu au constituit decît obiectul unor studii ocazionale. La acest interes s-a asociat adesea preocuparea cercurilor industriale de a obţine noi metale cu proprietăţi inedite sau de a găsi aplicaţii practice urmelor de elemente care există în anumite minereuri brute.

Deşi producerea industrială a aluminiului a început în secolul al XIX-lea datorită utilizării procedeului Hall-Héroult de electroliză a oxidului de aluminiu dizolvat în criolit topit, acest metal nu a cunoscut o importanţă reală decît după dezvoltarea aviaţiei. Aluminiul este folosit mai ales sub formă de aliaje uşoare, foarte rezistente, obţinute prin adăugarea de cupru, magneziu şi mangan.

Un alt metal uşor, magneziul, a devenit de asemenea important odată cu dezvoltarea aviaţiei. El a fost obţinut iniţial, în Germania şi în Statele Unite ale Americii, din saramuri, în care clorura de magneziu era separată de celelalte săruri prin cristalizare şi apoi electrolizată. În cursul anului 1930, Dow Chemical Company a început să extragă magneziu din apa mării. Apa mării, care conţine 0,13% ioni de magneziu, este tratată la început cu clor, apoi aerată pentru a deplasa (separa) bromul, tratată apoi cu var pentru a precipita magneziul sub formă de hidroxid; acest ultim produs este transformat în clorură de magneziu care este deshidratat şi apoi electrolizat. În cursul celui de-al doilea război mondial, magneziul a fost preparat şi prin calcinarea carbonatului de magneziu şi reducerea oxidului obţinut cu ajutorul ferosiliciului (metoda Pidgeon) sau cu carbon (metoda Hansgirg). Dar nici una dintre aceste metode nu a supravieţuit acestei perioade de mari cerinţe.

Titanul, care este al zecelea element în ordinea abundenţei în scoarţa terestră, este înzestrat cu o excelentă rezistenţă la tracţiune şi cu o densitate puţin superioară celei a aluminiului. Dar utilizarea sa industrială este frînată de dificultatea extragerii sale. Un succes parţial pe această cale a fost obţinut de W. J. Kroll care a pus la punct metoda de reducere a clorurii de titan, prin încălzire cu un aliaj de magneziu şi de sodiu într-o atmosferă inertă de argon sau de heliu. Producţia acestui metal rămîne totuşi destul de mică datorită preţului ridicat.

Metoda Kroll a fost folosită de asemenea şi la prepararea zirconiului necesar în reactorii nucleari. Dar mineralele în care se găseşte acest metal sînt contaminate cu urme dintr-un element vecin, hafniul, care are o mare capacitate de absorbţie a neutronilor şi care trebuie deci eliminat complet pentru ca zirconiul să poată fi folosit. Această dificultate a stat la baza cercetărilor foarte aprofundate asupra proprietăţilor zirconiului şi hafniului.

Dintre metalele alcaline, doar două, sodiul şi litiul, sînt produse în cantităţi importante. Litiul este folosit la sintetizarea unui agent reducător, hidrura dublă de aluminiu şi de litiu, $LiAlH_4$, şi hidrura de litiu, LiH, care sînt surse de hidrogen, solide şi uşor transportabile. Fabricarea bombelor cu hidrogen a necesitat de asemenea litiu, care reprezintă o sursă de materiale de fuziune prin transformarea izotopilor de hidrogen în heliu. Totuşi, metalul alcalin cel mai răspîndit rămîne sodiul. Este folosit pe scară largă în sinteza organică, în producţia tetraetilplumbului folosit în industria petrolieră şi în fabricarea de coloranţi şi de produse farmaceutice. Sub formă lichidă, sodiul este folosit de asemenea şi ca schimbător de căldură în reactorii nucleari.

NOI METALOIZI COMERCIALI. Spre mijlocul secolului, anumiţi metaloizi care nu au constituit pînă atunci obiectul unor studii aprofundate au început să prezinte interes. Este cazul în special al germaniului, siliciului şi borului.

Siliciul este folosit de peste un secol ca element al unui aliaj feros rezistent la acizi sau, sub formă de ferosiliciu, ca reducător în industria oţelului. De la descoperirea tranzistorilor, industria electronică cere importante cantităţi de siliciu şi de germaniu. Gradul de puritate extrem de ridicat, impus de utilizarea acestor metale la construirea elementelor electronice înzestrate cu caracteristici precise, a impus cercetări importante. Punerea la punct a unor metode, ca purificarea prin topire zonală (tehnica zonei topite), a condus la descoperirea unor proprietăţi nebănuite ale elementelor de mare puritate.

Cercetări active au fost efectuate şi asupra borului, pe măsură ce au apărut noi aplicaţii ale acestuia. Acest element intră în compoziţia anumitor oţeluri foarte rezistente. Azoturile de bor sînt deosebit de interesante datorită analogiilor lor cu carbonul. Una dintre acestea, produsă prin descompunerea unor compuşi, ca triamina de bor $B(NH_2)_3$, are aceeaşi structură cristalină ca grafitul. Un alt compus, carbura de bor, are aceeaşi structură cristalină ca diamantul, dar o duritate mai mare. S-a stabilit faptul că dacă un atom de bor şi unul de azot sînt legaţi, ei posedă acelaşi număr de electroni ca şi doi atomi de carbon şi că dimensiunile acestor grupări sînt analoage. Analogia cu carbonul a fost observată şi la borazol, $B_3N_3H_6$, a cărui structură seamănă cu cea a benzenului. Compuşii de acest gen se numesc izosteri. Noţiunea de izosterie explică asemănările proprietăţilor dintre anumiţi compuşi cu structuri aparent neasemănătoare.

HIDRURI DE BOR ŞI DE SILICIU. Deşi în secolul al XIX-lea au fost descoperite numeroase hidruri de siliciu, aceste substanţe nu au constituit obiectul unei atenţii speciale, decît după ce A. Stock a efectuat studiul lor întîi la Wroclaw şi apoi la Berlin. Datorită volatilităţii şi reactivităţii lor, Stock a trebuit să folosească pentru prepararea, fracţionarea şi studiul lor tehnica de presiune scăzută. El a folosit aceleaşi metode şi la cercetările asupra hidrurilor de bor care reprezintă un grup de compuşi şi mai dificil de manipulat.

Hidrura de bor cea mai simplă este diboranul, B_2H_6, compus care a constituit obiectul a numeroase speculaţii de ordin structural. Numărul de electroni disponibili pentru legătură este insuficient pentru a conduce la unul din tipurile obişnuite de covalenţe; doi din atomii de hidrogen au o situaţie specială, iar rotaţia în jurul legăturii bor-bor este limitată. Diferite teorii au încercat să explice structura specială a acestei molecule: legătură printr-un electron (Sidgwick, Pauling), legătură fără electron (G. N. Lewis), structură „în punte" (Dilthey), dublă legătură protonică (Pitzer) şi teoria mixtă care comportă distribuirea unei perechi de electroni între orbitalul hidrogenului şi orbitalele celor doi atomi de bor (Rundle). Această problemă care apare şi în cazul altor hidruri de bor cunoscute nu a fost încă pe deplin elucidată. Pe de altă parte, hidrurile de bor au devenit deosebit de importante datorită marii lor valori energetice, care le conferă calităţi neîntrecute ca materiale combustibile la propulsia rachetelor.

Studiile asupra hidrurilor de bor, efectuate la Chicago în 1940 de către H. I. Schlesinger, au condus la descoperirea borohidrurii de aluminiu, $Al(BH_4)_3$, şi apoi a borohidrurilor de sodiu, de potasiu şi ale altor metale. Aceşti compuşi, ca de exemplu hidrura de litiu şi de aluminiu, $LiAlH_4$, foarte asemănătoare, s-au dovedit a fi surse preţioase de hidrogen şi agenţi reducători puternici, în special în chimia organică.

SILICONII. Încă de la începutul secolului, F.S. Kipping din Nottingham a arătat că tetraclorura de siliciu reacţionează cu reactivii lui Grignard, formînd clorosilani organici, adică compuşi în care unul sau mai mulţi atomi de clor din jurul atomului de siliciu au fost înlocuiţi cu grupări organice. Aceşti compuşi hidrolizează uşor, formînd alţi compuşi care se condensează în siliconi, adică polimeri cu complexitate variabilă, care au proprietăţi cu totul surprinzătoare. Aceste substanţe se folosesc industrial în fabricarea uleiurilor, a vopselelor şi a unor materiale plastice. Au fost obţinuţi polimeri analogi pornind de la germaniu sau staniu.

COMPUŞII FLUORULUI. Timp îndelungat după descoperirea sa de către Moissan în 1886, fluorul nu a fost studiat deloc datorită marii sale reactivităţi şi toxicităţi.

Merită să fie menţionate doar lucrările lui F. Swarts din Belgia şi O. Ruff din Germania. În 1907, Swarts a preparat diclorodifluorometanul; folosirea ulterioară a acestui compus ca amestec răcitor a stimulat cercetările asupra fluorului şi asupra compuşilor săi. Anumiţi compuşi organici în care hidrogenul este în întregime înlocuit cu fluor s-au dovedit deosebit de inactivi şi au găsit din această cauză aplicaţii industriale variate ca izolatori electrici, lubrifianţi, mase plastice cu inerţie mare etc.[20].

F. CHIMIA ORGANICĂ

1. Tendinţele generale ale secolului al XX-lea

La începutul secolului al XX-lea, chimia organică era fără discuţie ramura chimiei cu vitalitatea cea mai accentuată. Avîntul ei reflecta succesele experimentale şi teoretice ale ultimelor patru decenii în cursul cărora concepţiile structurale au permis perfecţionarea cunoştinţelor asupra compuşilor cu carbon. Acest fapt a condus la extinderea rapidă a industriilor coloranţilor sintetici şi a produselor farmaceutice. Această dezvoltare industrială a antrenat, la rîndul ei, o nouă extindere a cercetării fundamentale, care a furnizat numeroase produse chimice utile noi şi a impus o cerere accentuată de specialişti formaţi în universităţi.

În primul sfert al secolului al XX-lea, chimia organică a fost înainte de toate o chimie a substanţelor aromatice, reflectînd astfel tendinţele importante ale industriei şi faptul că compuşii aromatici puteau să fie preparaţi în general într-o stare de puritate satisfăcătoare, spre deosebire de compuşii alifatici care nu puteau fi purificaţi adesea decît cu dificultăţi extreme. În cursul anilor următori, gudronul a încetat de a mai fi sursa exclusivă de materiale organice brute, numeroase produse chimice fiind preparate fie pornind de la gaz natural sau petrol, fie în urma unor procese de fermentație.

---

[20] La subcapitolul de chimie anorganică este necesar să se mai amintească unele aspecte noi. Astfel:

Se cunosc azi combinaţii complexe ale elementelor metalice tranziţionale, al căror atom central prezintă valenţe neobişnuite: ioni metalici cu sarcini negative sau sarcină de zero. De exemplu, $Li^+[Re(H_2O)_4]^{1-}$, K^+Re^-, $[Fe(CO)_4]^{2-}$, $[Rh(CO_4)]^{1-}$, $K_6[Cr^\circ(CN)_6]$, $K_4[Ni^\circ(CN)_4]$ etc.

Se studiază mult metalele rare şi disperse (Nb, Ta, Re...) cu utilizări speciale; oxizi metalici, unari şi polinari, utilizabili ca semiconductoare, termistoare, utilizabile pentru miniaturizarea aparatelor electronice, catalizatori etc.; se extinde mecanizarea şi automatizarea tehnologiilor proceselor chimice industriale etc., etc.

S-a propus şi adoptat o nouă bază de referinţă pentru greutăţile atomice: $^{12}C = 12{,}0000$ şi s-au recalculat diferite constante chimice.

Datorită faptului descoperirii şi sintetizării de noi şi noi combinaţii chimice, mai ales complexe, s-a simţit nevoia revederii şi stabilirii unor noi directive de nomenclatură (IUPAC, 1959 şi 1970).

În ultimele două-trei decenii numărul revistelor specializate pentru anumite domenii ale chimiei a crescut continuu. Datorită numărului mare, mereu în creştere, al lucrărilor de chimie, documentarea chimiştilor devine din ce în ce mai greoaie. De aceea se urmăreşte automatizarea documentării prin utilizarea computerilor, dezvoltîndu-se o nouă ramură ştiinţifică: informatica *(C.G.M.)*.

Pînă în 1930, cercetarea din chimia organică a păstrat același caracter ca în cursul ultimelor trei decenii din secolul trecut. S-a putut observa o tendință foarte accentuată spre sintetizarea de noi compuși și spre studiul proprietăților lor, dar aceste cercetări de sinteză au fost adesea efectuate într-un mod empiric. Abia după primul război mondial au fost abordate căi de cercetare teoretice în care noțiunile de mecanism de reacție, de cinetică a reacției și de interacții electronice au jucat un rol esențial. Introducerea unor metode ale chimiei fizice a modificat și mai net natura cercetării organice, pe cînd, pe la jumătatea secolului nostru, atenția a fost îndreptată asupra efectelor catalizatorilor, solvenților, concentrației în ioni de hidrogen și asupra diferitelor tipuri de centri de reacție.

Chimia organică a beneficiat de asemenea și de perfecționarea vechilor metode analitice și de folosirea noilor aparate de analiză. Metodele de microanaliză introduse de Pregl au permis executarea unor analize precise, fără a fi necesară izolarea și purificarea prealabilă a unor mari cantități de produse. Folosirea unor instrumente, ca polarograful, spectrofotometrul, spectrograful cu radiații infraroșii, spectrometrul de masă și cromatograful de gaze, a permis obținerea rapidă de informații analitice, care ar fi fost dificil accesibile în alte condiții.

În urma utilizării acestor metode și a adoptării unor noțiuni noi, pe la mijlocul secolului al XX-lea s-au putut rezolva anumite probleme structurale, abordîndu-se și cercetări de sinteză din ce în ce mai complexe.

2. Progresele sintezei

REACTIVUL LUI GRIGNARD. Printre numeroasele metode noi care au fost introduse în sinteza organică, reacția lui Grignard s-a dovedit una din cele mai răspîndite.

Această reacție a fost descoperită de fapt la sfîrșitul secolului al XIX-lea, de P. A. Barbier din Lyon. Barbier, care folosea compuși organozincici, în cursul unor cercetări de sinteză, a fost handicapat de faptul că singurii doi compuși ușor de preparat, metilzincul și etilzincul, erau foarte inflamabili. El a constatat că un amestec de halogenuri de alchil și de magneziu în eter putea fi folosit în cercetările de sinteză în locul alchilzincului. Un studiu al acestei reacții a fost efectuat de elevul său, Victor Grignard (1871—1935), care a studiat în teza sa de doctorat utilizarea acestui reactiv într-un anumit număr de sinteze. În anii următori, la Nancy și apoi la Lyon, Grignard a arătat că reactivul format din halogenura de alchilmagneziu putea fi folosit în numeroase sinteze: la hidrocarburi, la halogenuri de alchil, la alcooli, la acizi etc. Reacția lui Grignard s-a dovedit extrem de utilă în sintezele de laborator sub forme foarte variate.

Sub forma iodurii de etilmagneziu, reactivul lui Grignard a fost folosit și la determinarea analitică a hidrogenului mobil. Ciugaev și elevul său Zerevitinov au pus la punct o metodă bazată pe măsurarea metanului eliberat.

REDUCEREA. Hidrogenarea catalitică a compuşilor organici a fost studiată după 1897 de Paul Sabatier (1854—1919) şi de colaboratorii săi, din care menţionăm în special pe J.B. Senderens.

Sabatier a arătat că nichelul fin divizat reprezintă un catalizator deosebit de eficace pentru hidrogenarea compuşilor nesaturaţi, la temperaturi ridicate şi la presiuni înalte. Aceste cercetări au permis realizarea hidrogenării pe scară mare a uleiurilor vegetale în vederea producerii grăsimilor alimentare.

Din punct de vedere pur experimental, studiile asupra hidrogenării au fost îngreuiate de comportarea neregulată a metalelor fin divizate, folosite drept catalizatori. Un succes remarcabil se datoreşte lui M. Raney, care a pus la punct în 1927 un aliaj de aluminiu, capabil de a fi transformat în nichel catalitic cu proprietăţi uniforme. Cercetări importante asupra hidrogenării la presiuni înalte au fost efectuate de V. Ipatiev, iniţial în U.R.S.S. şi apoi în Statele Unite ale Americii. H. Adkins a efectuat de asemenea în Statele Unite cercetări interesante asupra hidrogenării. Şi hidrogenarea necatalitică a fost de asemenea studiată încă de la începutul secolului.

L. Bouveault şi G. L. Blanc au semnalat o metodă de preparare a alcoolilor pornind de la esteri, prin reducerea părţii acide a moleculei, folosind reacţia sodiului asupra alcoolului etilic. Bouveault este şi autorul unei metode de sinteză a aldehidelor pe baza formamidelor disubstituite prin acţiunea reactivilor lui Grignard.

După 1940, H.I. Schlesinger şi colaboratorii săi au descoperit reducători extrem de activi, ca hidrura de bor şi litiu şi hidrura de aluminiu şi sodiu; ultima substanţă permite obţinerea de reduceri specifice, ca cea a grupării carbonil din compuşii cu legătură dublă. Utilizarea lor a fost pusă la punct în special de H.C. Brown.

CONDENSAREA DIELS-ALDER. O descoperire foarte folositoare a fost efectuată în 1928 de H. Diels şi F. Alder care au observat că butadiena se condensează cu anhidrida maleică pentru a da un acid tetrahidroftalic. Studiile ulterioare au evidenţiat o reacţie foarte generală care comportă adiţia 1-4 a dienelor la unii compuşi etilenici a căror nesaturare este activată de grupele carbonil, carboxil, cian sau nitro.

SUCCESE ÎN REALIZAREA SINTEZELOR LA JUMĂTATEA SECOLULUI. Nu vom putea expune aici toate reacţiile descoperite în cursul secolului al XX-lea, dar vom sublinia totuşi că marea varietate de posibilităţi pe care le oferă a permis realizarea sintezei unor molecule de o foarte mare complexitate.

Iată cîteva exemple dintre aceste succese realizate prin sinteza organică: sinteza riboflavinei (realizată independent de Karrer şi R. Kuhn), a acidului ascorbic (Reichstein, Haworth), a α-tocoferolului sau vitaminei E (P. Karrer, A. Todd, L. I. Smith), a vitaminei K (Doisy, Fieser), a chininei (Woodward şi Doering), a cortizonului (Sarett), a narcotinei, a alcaloizilor din grupul indolului şi a tropinonelor (R. Robinson), a patulinei, a stricninei (Woodward), a clorofilei (Woodward şi Strell), a acidului folic (Waller) etc.

Deşi, în numeroase cazuri, sinteza unui compus a putut fi efectuată imediat după descoperirea structurii sale, totuşi, în general, această sinteză implică numeroase etape intermediare, care necesită un important efort preliminar de organizare înainte ca munca de laborator să poată fi efectiv realizată. Pentru a depăşi una dintre aceste etape, chimia de sinteză poate adesea alege între numeroasele tipuri de reacţii cunoscute, sau se poate baza pe concepţii teoretice originale, sau pe noi reactivi, pe aparate speciale sau pe metode analitice ajutătoare, ca spectroscopia în infraroşu. Una dintre metodele recente cele mai des folosite este utilizarea microorganismelor pentru realizarea anumitor etape sintetice; această metodă este deosebit de preţioasă în anumite cazuri în care metodele chimice clasice nu pot conduce decît la amestecuri racemice.

3. Dezvoltări teoretice

LEGĂTURA ELECTRONICĂ. Concepţiile lui Lewis, Langmuir şi Kossel, privitoare la legăturile atomilor prin dubleţi electronici, au jucat foarte rapid un rol important în chimia organică. Înaintea acestora, legătura dintre atomi fusese recunoscută, dar natura sa era încă nesigură. Cu ajutorul dubletului electronic, această legătură a putut fi abordată din punct de vedere fizic, obţinîndu-se în acelaşi timp o înţelegere mai corectă a forţelor de legătură şi a comportării lor. Sidgwick a avut o contribuţie importantă la introducerea acestor teorii electronice în chimia organică.

Diferenţele în reactivitatea şi în efectele solvenţilor, ale catalizatorilor şi ale reactivilor au arătat că dubletul electronic se găseşte la originea a numeroase forţe intra- şi intermoleculare. G. N. Lewis a atras atenţia asupra diferiţilor compuşi, ca alcoolul metilic, clorura de metil şi metilamina, în care inegalitatea atracţiei exercitată de atomul de carbon şi de celălalt element asupra dubletului electronic creează un moment de dipol măsurabil.

Rolul jucat de electroni în reacţiile organice a fost studiat de R. Robinson şi C.K. Ingold, în scopul lămuririi rolului jucat de centrii de densitate electronică mare sau mică în reactivii organici. Aceste studii au condus la introducerea unor noţiuni, ca cea de *efect inductiv* (cînd influenţa atomilor apropiaţi conduce la retragerea sau la cedarea de electroni) şi cea de *efect mezomer* (în care delocalizarea electronilor este însoţită de stabilizarea unui sistem). Teoria acido-bazică a lui Lewis a jucat de asemenea un rol important în chimia organică.

Ea a permis explicarea efectelor catalitice ale unor compuşi ca $AlCl_3$, $ZnCl_2$, $FeCl_3$, BF_3, considerînd fiecare din aceşti compuşi ca fiind un acid de tip Lewis, adică un acceptor de dubleţi electronici proveniţi de la o bază Lewis: $(CH_3)_3N: + BF_3 \rightarrow (CH_3)_3N : : BF_3$. Numeroase alte exemple au putut fi de asemenea explicate cu ajutorul acestei teorii. Ingold a dat numele de nucleofili acelor reactivi care donează electroni sau care îi împart cu un alt reactiv. Reactivul care acceptă astfel de electroni a fost numit electrofil.

RADICALI LIBERI. Radicalii liberi ocupă un rol din ce în ce mai important în mecanismele reacţiilor organice, deşi la sfîrşitul secolului al XIX-lea se considera că astfel de radicali nu există.

În acea perioadă, M. Gomberg a încercat să prepare hexafeniletanul prin acţiunea argintului asupra clorurii de trifenilmetil. Deoarece produsul obţinut manifesta o reactivitate neaşteptată faţă de oxigen şi halogeni, cercetările au dovedit existenţa trifenilmetilului $(C_6H_5)_3C$, ca radical liber. Prin folosirea altor grupări aril, Gomberg a reuşit să stabilească un model coerent al formării radicalilor liberi, deoarece grupările aril sînt prea masive pentru ca un etan hexasubstituit să poată fi stabil în soluţie. Culoarea soluţiilor unor astfel de radicali liberi a fost în sfîrşit asociată cu prezenţa unui electron neîmperecheat în radical.

Deşi în cursul anilor următori au mai fost preparaţi şi alţi radicali liberi, nu s-a acordat iniţial o prea mare atenţie eventualei apariţii a unor astfel de radicali în reacţiile organice. În 1925, H. Taylor, în cursul studiilor sale asupra hidrogenării etilenei sub acţiunea luminii ultraviolete, a apelat din nou la radicalii liberi. F. Paneth în Germania şi F.O. Rice în Statele Unite ale Americii au arătat cu ajutorul unor oglinzi metalice că în cursul reacţiilor de piroliză se formează radicali liberi cu existenţă efemeră şi că aceştia pot să dea temporar compuşi volatili cu metalul. Calculele de mecanică cuantică au stabilit faptul că astfel de radicali pot fi stabili, deşi energiile mici de activare îi fac deosebit de reactivi. M. Kharasch din Statele Unite a folosit în explicarea reacţiilor organice mecanisme cu radicali liberi.

S-a observat că în numeroase cazuri astfel de radicali intervin în mecanismele reacţiilor în lanţ. Astfel, reacţiile de halogenare stimulate de lumină sînt accelerate considerabil în urma unei reacţii fotochimice iniţiale de disociere a moleculei de halogen.

STEREOCHIMIA. Teoria atomului de carbon tetraedric, formulată de van't Hoff şi Le Bel în 1874, a jucat un rol foarte important în interpretarea configuraţiei compuşilor optic activi. Cercetările lui Emil Fischer asupra structurii zaharurilor simple reprezintă o strălucită combinare a cercetării experimentale şi a gîndirii teoretice în vederea rezolvării unei probleme structurale complexe. Deşi toate cercetările ulterioare au profitat din plin de aceste cercetări, nici un studiu stereochimic din secolul al XX-lea n-a egalat în genialitate opera realizată de Fischer la sfîrşitul secolului al XIX-lea.

În secolul al XX-lea, s-a mărit lista compuşilor optic activi prin adăugarea unor anumiţi compuşi pentru care sînt posibile imagini „în oglindă“, deşi în moleculă nu este prezent nici un atom de carbon asimetric.

În 1909, W. H. Perkin Jr., W. J. Pope şi O. Wallach au semnalat existenţa unui compus ai cărui atomi sînt situaţi în două plane perpendiculare, fără posibilitatea de a se roti. Au fost descoperite numeroase alte cazuri de activitate optică, în care posibilitatea de a obţine doi antipozi optici (enantiomorfi) provine dintr-o asimetrie asociată fie unui sistem fix de cicluri (ca la spirani), fie unei structuri cu duble legături (alene). Izomeria optică apare de asemenea şi atunci cînd rotaţia particulară în jurul unei legături dintre nucleele aromatice este împiedicată de grupările voluminoase din poziţia *orto* (atrop-izomerie); ea poate de asemenea să fie legată de un sistem policiclic care poate admite o structură spiralată.

Eforturi considerabile au fost îndreptate spre studiul contribuţiei optice a centrilor asimetrici individuali. Cercetările lui C. S. Hudson în America şi K. Freudenberg din Germania au fost deosebit de importante în acest domeniu.

Configuraţiile absolute s-au sprijinit mult timp pe baze arbitrare. Dar în 1951, J.M. Bijvoet, A.F. Peerdeman şi A.J. Van Bommel au reuşit să confirme corectitudinea metodei convenţionale pe baza studiului cu radiaţii X a cristalului de tartrat de sodiu şi de rubidiu. Prin comparaţie cu alţi compuşi activi, s-au putut determina configuraţiile absolute ale unor numeroşi compuşi, inclusiv ale anumitor molecule complicate, ca steroizii şi terpenele.

ANALIZE CONFORMAŢIONALE. Haworth a introdus noţiunea de conformaţie pentru a reprezenta aranjamentul spaţial al atomilor constituenţi faţă de atomii de carbon adiacenţi uniţi printr-o legătură simplă.

Unei molecule date îi corespunde un număr teoretic infinit de conformaţii datorită rotaţiei libere în jurul unei legături simple. În realitate, datorită unor variaţii de energie care apar între diferitele conformaţii, unele dintre acestea au o probabilitate mai mare. De exemplu, s-a arătat că conformaţia stabilă a *mezo*-dibromstilbenului este cea în care grupurile fenil sînt cît mai depărtate unele de celelalte (fig. 25).

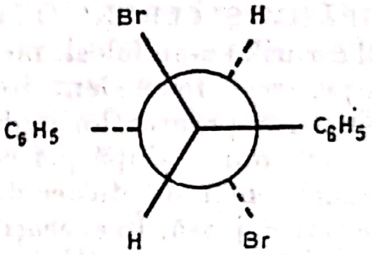


FIG. 25. FORMULA MEZO-DIBROMSTILBENULUI. (Proiecţie a formulei care arată legătura ce uneşte cei doi atomi de carbon asimetrici. Liniile continue reprezintă legăturile corespunzătoare atomului de carbon din faţă; liniile punctate sînt cele ale atomului de carbon situate în spate.)

Numeroase studii conformaţionale au fost efectuate asupra sistemelor ciclice neplane.

Astfel este cazul ciclohexanului, pentru care s-a stabilit după 1890 posibilitatea existenţei a doi izomeri cunoscuţi sub numele de „scaun“ şi „baie“.

Faptul că cei doi izomeri nu au putut fi niciodată separaţi dovedeşte uşurinţa interconvertibilităţii lor, dar toate studiile au stabilit o mai mare stabilitate pentru forma „scaun“ în special la sistemele policiclice, aşa cum apar în steroizi.

Analiza conformaţională, dezvoltată în special de D.H.R. Barton, a jucat un rol important în studiul structurii şi reacţiilor steroizilor, triterpenelor, alcaloizilor şi glucidelor. Ea singură nu permite stabilirea stereochimiei moleculelor complexe, dar, asociate cu radiocristalografia, cu spectroscopia de absorbţie şi cu ansamblul faptelor chimice cunoscute, reprezintă un important instrument în serviciul organicienilor.

4. Produşi naturali

La începutul secolului al XX-lea, existau numeroase cercetări remarcabile consacrate compoziţiei grăsimilor, terpenelor, alcaloizilor, zaharurilor, purinelor, pirimidinelor şi proteinelor; numeroase probleme legate de aceşti compuşi rămîneau totuşi fără soluţie. Pe lîngă acestea, cercetările biochimiştilor au atras atenţia organicienilor asupra unor compuşi, ca steroizii, carotinoidele, vitaminele, acizii nucleici şi hormonii.

GLUCIDELE. În ciuda excelentelor lucrări ale lui E. Fischer asupra structurii glucozei, la începutul secolului al XX-lea continuau încă să apară multe probleme dificile. Astfel, Fischer a stabilit cu certitudine existenţa a două metil-glucozide ale căror molecule conţineau în ciclu un atom de oxigen, dar n-a extins această concepţie şi la glucoza propriu-zisă. În cursul următoarelor trei decenii a fost întreprins un vast program de cercetări asupra structurii zaharurilor în laboratorul american al lui C.S. Hudson şi în laboratoarele britanice ale lui Th. Purdie, W.N. Haworth, J.C. Irvine şi E.L. Hirst.

Studiul anumitor derivaţi ai zaharurilor, ca esterii metilici, pentaacetaţii şi produşii de adiţie ai acetonei a permis localizarea poziţiei de închidere a inelului la produşii naturali. Hudson a folosit acidul periodic pentru a stabili natura grupărilor terminale, a ramificaţiilor şi a ordinii de înlănţuire în polizaharide.

GRĂSIMI ŞI CERURI. O bună parte din secolul al XX-lea, în studiul grăsimilor şi al cerurilor s-au folosit metodele tradiţionale, iar chimia acestor produşi naturali a progresat foarte lent din cauza dificultăţii de a separa compuşii alifatici învecinaţi. Separarea lor, sub formă de esteri metilici, a putut fi realizată în mod curent numai după perfecţionarea coloanelor de distilare. J.B. Brown a pus la punct o metodă eficace de separare a acizilor nesaturaţi prin cristalizare la temperatură joasă. În aceeaşi perioadă, cercetări importante efectuate în laboratorul lui H.A. Schuette (Universitatea din Wisconsin) asupra fazelor au furnizat informaţii interesante cu caracter analitic, A.C. Chibnall a studiat, cu ajutorul radiaţiilor X, acizii, hidrocarburile şi cetonele cerurilor, în timp ce T.P. Hilditch a determinat compoziţia unor numeroase varietăţi de uleiuri animale şi vegetale. Introducerea recentă a cromatografiei în fază de gaz a furnizat un nou şi puternic instrument în analiza amestecurilor de acizi graşi.

COMPUŞII AZOTAŢI. Datorită marii importanţe biologice a proteinelor, chimia acestora a fost studiată cu o atenţie deosebită. La începutul secolului, majoritatea aminoacizilor naturali erau cunoscuţi; alţii au fost descoperiţi în secolul al XX-lea: triptofanul (F.G. Hopkins, 1901), prolina, hidroxiprolina şi valina (E. Fischer, 1901), tiroxina (E.C. Kendall, 1915), metionina (Mueller, 1922), treonina (W.C. Rose, 1935). În 1924, Th. B. Osborne a publicat primele tabele cu compoziţia proteinelor în aminoacizi.

În primii ani ai secolului al XX-lea, Fischer a aprofundat studiul proteinelor şi al aminoacizilor. El a descoperit prezenţa unor înlănţuiri peptidice de aminoacizi în proteine şi a reuşit să obţină sinteza unei polipeptide cu 18 unităţi aminoacide.

Aminoacizii extraşi din proteine conţin o grupare amino la carbonul α. Existenţa unui astfel de centru asimetric a condus la studiul problemelor de configuraţie. K. Freudenberg a arătat că alanina naturală este legată de acidul L(+)-lactic: ulterior s-a stabilit faptul că toţi acizii naturali posedă această configuraţie L.

Determinarea compoziţiei în aminoacizi a proteinelor hidrolizate a fost foarte dificilă pînă la introducerea cromatografiei pe hîrtie (1943) (vezi p. 415). În 1940, D. Rittenberg a introdus diluţia izotopică ca metodă cantitativă de determinare a aminoacizilor.

Dezvoltarea analizei grupării terminale a marcat o etapă esenţială în studiul seriei aminoacizilor în moleculele de polipeptide şi de proteine.

În 1945, F. Sanger, de la Cambridge, a folosit 2,4-dinitrofluorobenzenul pentru a marca grupările finale aminate din moleculă. După hidroliză, derivatul colorat al aminoacidului este identificat prin cromatografie pe hîrtie. Cu ajutorul acestei metode, Sanger a reuşit să reconstituie distribuţia aminoacizilor în molecula de insulină.

STEROIZII. Deşi unii compuşi, cum ar fi colesterolul şi acizii biliari, au constituit mai demult obiectul a numeroase studii, abia prin 1920, în urma progreselor realizate în chimia organică, problema structurii lor a putut fi abordată în mod corect[21].

Puţin înainte de anul 1930, A. Windaus din Göttingen şi H. O. Wieland din München, care au studiat colesterolul şi respectiv acidul cholic, au propus considerarea acestor substanţe drept sisteme tetraciclice şi au interpretat destul de corect grupările ataşate acestui nucleu. Studiile ulterioare au dovedit totuşi că această schemă structurală era greşită. Prin dehidrogenarea compuşilor formaţi de aceste substanţe cu seleniu se obţineau mici cantităţi de „hidrocarbură a lui Diels“. După lămurirea naturii acestui compus, s-a putut deduce structura corectă a colesterolului şi a acidului cholic.

S-a observat apoi că nucleul steroidic este foarte răspîndit în natură; el apare în diferiţii steroli şi acizi biliari, ca şi în hormonii sexuali, hormonii corticali ai glandelor suprarenale, în glucozidele cardiotonice, în digitalină, în sapogenine şi în anumite veninuri (H. Wieland, L. Ruzicka, W. Neumann etc.).

5. Avîntul medicamentelor organice

La începutul secolului al XX-lea, industria chimiei organice avea ca scop esenţial sinteza coloranţilor, obţinuţi în majoritatea cazurilor din compuşii extraşi din gudroanele de huilă. Chimiştii germani tocmai realizaseră sinteza indigoului la scară industrială. În apogeul dezvoltării lor ei încercau să modifice anumite molecule pentru a obţine produse rentabile din punct de vedere comercial. Studiind noi posibilităţi de aplicare a produşilor intermediari nefolosiţi, ei au explorat în mod activ toate domeniile şi în special cele ale produselor alimentare şi farmaceutice.

---

[21] Insulina este prima proteină propriu-zisă care a fost obţinută sintetic, de către Kassoyanin, 1963; de Zahn, 1963 şi de un colectiv din R.P. Chineză, 1965 *(C.G.M.)*.

În acest mod, produsele chimice au fost introduse în industria alimentară în special ca substanţe colorante aromatizante şi antiseptice, fără a se acorda totuşi o atenţie suficientă interesului consumatorilor şi în special protejării sănătăţii lor. Pentru a împiedica utilizarea unor substanţe periculoase, în numeroase ţări a fost necesară adoptarea unei legislaţii care să controleze utilizarea acestor produse. În realitate, punerea la punct a unei astfel de reglementări a necesitat cercetări îndelungate şi chiar recent s-a constatat nocivitatea anumitor coloranţi alimentari, a unor substanţe dezinfectante şi a unor produse aromatice folosite de mult timp în mod curent. Din această cauză, noile ingrediente alimentare constituie astăzi obiectul unor severe verificări chimice şi biologice înainte de a li se autoriza utilizarea.

Domeniul farmaceutic a fost cercetat foarte atent de chimiştii din industrie care căutau noi debuşee pentru produsele lor. Cînd a fost descoperită originea microbiană a numeroase boli, acest efort a fost multiplicat. Materializarea speranţelor a fost totuşi lentă, deoarece substanţele care sînt toxice pentru microbi sînt în general toxice şi pentru formele de viaţă superioare. Primele succese remarcabile în sinteza medicamentelor au fost realizate în domeniul compuşilor care uşurau unele simptome, fără a elimina cauzele profunde ale bolii: primul medicament important care a fost descoperit în cursul acestor cercetări a fost aspirina, comercializată în 1899 de firma germană „Bayer“.

DERIVAŢII ARSENULUI. Un nou mare succes în domeniul chimioterapiei a fost obţinut în urma lucrărilor lui Paul Ehrlich (1854—1915). Studiile lui Ehrlich asupra coloranţilor înzestraţi cu acţiune biologică selectivă au condus la punerea la punct a unor compuşi organici cu arsen care s-au dovedit eficace împotriva anumitor microbi patogeni: salvarsanul sau compusul 606 împotriva sifilisului (1909), neosalvarsanul (1912).

Deşi succesele lui Ehrlich au stimulat din plin cercetările altor agenţi chimioterapeutici, rezultatele au fost puţin încurajatoare.

Înainte de 1930, merită a fi citate doar cîteva descoperiri: produsul *Bayer 205*, folosit după 1920 la tratamentul bolii somnului, tiparsamida, obţinută la Rockefeller Institute (1926) şi înzestrată cu anumite calităţi antitripanozomice, carbarsonul care este un produs înrudit chimic cu cel precedent şi cu acţiune împotriva dizenteriei amibiene etc.

SULFAMIDELE. În 1930, firma „I.G. Farben“ a brevetat prontosilul, pus la punct de G. Domagk, în scopul luptei contra afecţiunilor streptococice şi stafilococice. Acest colorant roşu a fost introdus după 1935 în practica clinică. Ceva mai tîrziu, un colectiv de la Institutul Pasteur a arătat că activitatea moleculei sale se limitează la componenta sulfanilamidă, care ulterior a fost folosită ca atare ca medicament. Chimiştii societăţii May and Baker din Anglia au arătat curînd că înlocuirea unui hidrogen din gruparea (-SO_2NH_2) printr-o grupare organică modifică şi adesea întăreşte acţiunea sa împotriva microorganismelor. Alte variante, obţinute cu diferite grupări: piridină, tiazol etc., au apărut imediat pe piaţă.

Sinteza substanţelor chimice obţinea astfel primul său mare succes în chimioterapie.

Deşi au fost destul de repede înlocuite de antibiotice, sulfamidele au stat şi la baza unui nou domeniu al cercetării medicale odată cu descoperirea, de către P. Fildes şi D. D. Woods din Cambridge, a faptului că gruparea sulfamidă acţionează ca un antimetabolit. Această grupare este strîns legată de o vitamină, şi anume acidul *p*-aminobenzoic, care are un rol esenţial în sinteza acidului folic de către anumite bacterii. Metabolismul acestor bacterii este profund perturbat de prezenţa grupării sulfamidice, pe care nu o pot diferenţia de acidul *p*-aminobenzoic.

ANTIPALUDICE. După descoperirea sa în 1917 de către Pelletier şi Caventou, chinina n-a atras prea mult atenţia chimiştilor. La sfîrşitul secolului al XIX-lea însă, s-au realizat progrese importante în identificarea produşilor săi de degradare. În acelaşi timp, structura sa a fost stabilită treptat, pentru ca în 1931 să se obţină şi sinteza sa parţială de către P. Rabe. Sinteza totală a fost obţinută în 1944 de Wooldward şi Doering, dar printr-o metodă prea complicată pentru a putea fi aplicată la scară industrială.

Au fost efectuate cu asiduitate studii paralele pentru a găsi înlocuitori ai chininei. În 1926 „I.G. Farben" a produs plasmochina, care este un derivat al chinoleinei, dar marea sa toxicitate i-a limitat utilizarea medicală. Mai utilă s-a dovedit atebrina sau chinacrina, care este un colorant acridinic obţinut în 1932. În timpul celui de-al doilea război mondial, Statele Unite ale Americii au efectuat un studiu sistematic al produselor ce pot avea proprietăţi antipaludice, dar nici unul din cei 14 000 de compuşi, obţinuţi şi studiaţi, nu s-au dovedit superiori chininei şi atebrinei.

ANTIBIOTICE. Efectele antibiotice ale unui mucegai, *Penicillium notatum*, au fost observate încă din 1928 de Alexandru Fleming, care a încercat să concentreze şi să izoleze substanţa — penicilina — pe care o considera că stă la baza acestei acţiuni. Eforturile sale nu au avut un succes imediat prea mare: aceste cercetări au fost însă reluate în 1939 la Oxford de un colectiv de chimişti condus de H.W. Florey şi E.B. Chain. Aceste cercetări au condus la izolarea în 1942 a unui concentrat care s-a dovedit deosebit de eficace în încercările clinice. În continuare, în Statele Unite ale Americii s-au pus bazele realizării rapide a unei producţii industriale.

În Anglia ca şi în Statele Unite ale Americii, numeroase laboratoare au continuat cu asiduitate studiul chimic al penicilinei. S-a stabilit curînd că există mai multe varietăţi de penicilină, avînd toate acelaşi nucleu, şi deosebindu-se prin natura lanţului lor lateral. Studiile cristalografice efectuate de D.C. Hodgkin în Anglia (1949) au jucat un rol important în clarificarea structurii penicilinei. Complexitatea moleculei sale nu lăsa nici o speranţă în privinţa unei sinteze rapide a penicilinei. Sinteza totală a penicilinei V a fost realizată abia în 1957 de către J.C. Sheehan şi K.R. Henery-Logan de la Massachusetts Institute of Technology. Datorită cercetărilor sistematice întreprinse cu mijloace remarcabile au fost descoperite curînd şi alte antibiotice, în timp ce producţia lor comercială a fost pusă rapid pe roate. Fiecare dintre aceşti compuşi a mai ridicat însă în faţa chimiştilor probleme noi şi dificile: stabilirea structurii lor, încercarea sintetizării lor şi punerea la punct, după studiul acţiunii farmacologice şi modificarea moleculei, a unor forme sintetice mai eficace şi mai comode la utilizare. În cîţiva ani au fost descoperite şi puse în comerţ: streptomicina, aureomicina, cloromicetina, tetraciclina, teramicina etc. Structura relativ simplă a cloromicetinei a permis chiar sintetizarea sa industrială.

MEDICAMENTELE HORMONALE. În urma cercetărilor efectuate asupra hormonilor sexuali prin 1930, de către Doisy, Butenandt şi alţii, aceste substanţe au fost folosite în tratamentul tulburărilor legate de dezechilibre hormonale[22]. Extragerea acestor compuşi activi din urină sau din glandele animale fiind dificilă, s-au efectuat studii privind sintetizarea lor sau transformarea în forme mai active. Preparat iniţial prin reducerea oestronei extrase din urină, oestradiolul a fost obţinut prin sinteză pornind de la colesterol, după o metodă pusă la punct de Inhoffen în 1948.

Observîndu-se că activitatea biologică se păstrează cînd cele două inele mediane ale nucleului sterolic sînt deschise, s-a putut pune la punct producţia unor hormoni sexuali pur sintetici, ca dietilstilboestrolul. Prepararea acestui compus este atît de simplă, încît el a putut fi folosit pe scară mare pentru a accelera îngrăşarea animalelor; această utilizare a trebuit să fie reglementată dealtfel în numeroase ţări.

În vederea utilizării lor medicale, au mai fost produşi industrial şi alţi hormoni: cortizonul, A.C.T.H.[23] etc.

G. INDUSTRIA CHIMICĂ ORGANICĂ

În timp ce la începutul secolului al XX-lea, chimia organică industrială se limita practic la producţia coloranţilor şi a medicamentelor, în cursul anilor următori, dezvoltarea sa s-a manifestat în alte domenii. În timp ce aproape toate produsele organice industriale erau extrase pînă atunci din derivaţii gudronului, au început să fie treptat exploatate şi alte surse. Pe la jumătatea secolului, a cunoscut o mare dezvoltare producţia compuşilor sintetici pe baza gazelor naturale sau a petrolului. Pe de altă parte, procesele de fermentaţie au permis de asemenea obţinerea nu numai a alcoolului etilic, ci şi a acetonei, butanolului, acidului citric şi a numeroase alte produse. Astfel, în Germania s-au obţinut mari cantităţi de hidrocarburi şi de produse derivate pornind de la cărbune prin metodele Bergius şi Fischer-Tropsch. Prima metodă se bazează pe hidrogenarea catalitică a lignitului; cea de a doua se bazează pe conversia catalitică în alcooli, acizi şi hidrocarburi, a oxidului de carbon şi a hidrogenului produşi prin acţiunea vaporilor de apă asupra cocsului la temperaturi înalte. În cursul celui de al doilea război mondial aceste metode au fost folosite în Germania pe o scară foarte largă, în scopul sintetizării benzinei și a grăsimilor alimentare.

---

[22] Vezi studiul lui R. Debré şi G. Desbuquois (pp. 898—900).

[23] Un studiu mai complet al hormonilor este expus de R. Debré şi G. Desbuquois (pp. 849—857).

PRODUSE DE POLIMERIZARE. Pe lîngă utilizarea sa în fabricarea hîrtiei, celuloza a devenit materia de bază în producerea diverselor tipuri de mătăsuri artificiale și a filmelor celulozice. Chimiștii au reușit să realizeze și sinteze mai complete ale unor fibre textile.

Astfel, ei au obținut nylonul prin combinarea hexametilendiaminei cu acidul adipic, orlonul prin polimerizarea acrilonitrilului, dacronul (terilenul) prin combinarea acidului tereftalic cu etilenglicol.

Fabricarea cauciucului sintetic a fost de asemenea realizată în urma studiului polimerizării unor molecule ca butadiena. De asemenea, au fost descoperite treptat și numeroase materiale plastice, deși acest lucru a fost făcut empiric la început.

Celuloidul, obținut prin combinarea nitrocelulozei și camforului, a fost comercializat încă din 1872 de J.W. Hyatt. Prin policondensarea cazeinei cu formaldehidă, s-au realizat materiale plastice cazeinice în 1897. În 1910, s-a obținut de către L. H. Baekeland un tip de plastic mai important, bachelita, prin policondensarea fenolului și formaldehidei. În continuare a fost inițiat studiul aprofundat al naturii macromoleculelor. Aceste cercetări stau la baza descoperirii marii varietăți de materiale plastice, de textile și de substanțe elastice disponibile actualmente.

PRODUSELE CHIMICE AGRICOLE. Cercetările din chimia organică au provocat adevărate revoluții în metodele agricole, în urma folosirii produselor chimice în lupta contra insectelor și a altor dăunători.

Pînă în 1940, în lupta împotriva insectelor, se foloseau în special otrăvuri minerale, ca arseniații și fluorurile, precum și anumite produse organice naturale, ca piretra, rotenona și nicotina. P. Müller de la firma „Geigy“ din Basel a observat apoi efectele toxice ale diclorodifeniltricloretanului (D.D.T.) asupra insectelor. Acest compus a fost folosit pe o scară largă împotriva țînțarilor, muștelor și a insectelor parazite de către forțele militare aliate, fiind apoi introdus și în utilizarea civilă. Succesul acestei substanțe a stimulat cercetările sistematice ale altor insecticide. În cursul anilor următori, au fost comercializați numeroși derivați clorurați ai hidrocarburilor, ca și fosfați organici foarte toxici.

Introducerea acestor compuși a impus o sarcină dificilă organismelor de control. Acestea au trebuit să studieze cu mare atenție metodele de detecție ale reziduurilor ce ar fi putut contamina alimentele și să efectueze cercetări farmacologice în scopul elaborării unor reguli prudente de utilizare. Cercetările asupra hormonilor vegetali au arătat că unele substanțe, ca acidul indolacetic, reglează dezvoltarea anumitor plante[24].

---

[24] Vezi studiul lui J. F. Leroy (pp. 755—761).

S-a observat că unii compuşi pur sintetici, ca acidul 2,4-dicloroofenoxiacetic (2,4-D), aveau efecte similare, putînd fi utilizaţi la distrugerea anumitor plante, obligîndu-le la o creştere foarte rapidă. Această descoperire a condus la punerea la punct a numeroşi compuşi folosiţi ca ierbicide. Studiile de fiziologie vegetală şi de chimie organică au permis de asemenea punerea la punct a unor produse utilizabile ca întîrzietori de creştere, defolianţi sau stimulatori de coacere.

H. BIOCHIMIA

1. Situaţia cunoştinţelor în 1900

La începutul secolului al XX-lea, biochimia era încă o ştiinţă esenţial descriptivă. Interesul ei era îndreptat asupra compoziţiei alimentelor şi asupra altor produse biologice. Studiile asupra metabolismului energetic erau destul de avansate datorită cercetărilor de calorimetrie animală realizate spre sfîrşitul secolului al XX-lea, dar cunoaşterea rolului diverselor componente ale alimentelor era încă rudimentară.

Activitatea principală în prima treime a secolului al XX-lea a fost orientată în domeniul digestiei în care efectuarea de studii asupra vitaminelor şi asupra rolului elementelor minerale a jucat un rol important în lupta împotriva bolilor de carenţă.

Pe la jumătatea secolului, biochimia a devenit mai dinamică, îndreptîndu-şi activitatea sa principală asupra studiului reacţiilor metabolice în interiorul celulelor vii. În consecinţă, rolul enzimelor a devenit deosebit de important, şi pentru a urmări etapele succesive ale transformării compuşilor alimentari în produse de oxidări biologice, au fost puse la punct diverse metode.

2. Cunoştinţe noi asupra nutriţiei

RECUNOAŞTEREA BOLILOR DE CARENŢĂ. În 1900 bacteriologia ajunsese la o mare dezvoltare, iar bacteriile erau considerate în general drept principalii factori ai bolilor. Totuşi, era evident faptul că anumite tulburări aveau o origine nebacteriologică, legată în special de regimul alimentar sau de mediu.

Într-o lucrare publicată în 1753, un chirurg al marinei britanice, J. Lind, a evidenţiat valoarea sucului de portocale sau de lămîie în lupta contra scorbutului. Un medic din marina japoneză, K. Takaki, a stabilit de asemenea, prin 1880, că frecvenţa bolii beri-beri, observată la marinari, poate fi considerabil redusă prin înlocuirea unei părţi din orezul decorticat, care constituia hrana lor esenţială, prin carne şi legume. Ch. Eijkman, directorul laboratorului de anatomie, fiziologie şi de bacteriologie din Djakarta (Batavia), a efectuat în 1896 cercetări importante asupra acestui subiect. Se ştia de asemenea că rahitismul putea fi vindecat prin folosirea uleiului de ficat de morun şi prin expunere la soare. În ciuda acestor evidenţe, majoritatea medicilor, subestimînd aceşti factori dietetici, atribuiau acestor boli cauze bacteriene sau de altă natură.

În urma experiențelor efectuate asupra regimurilor constituite din alimente foarte purificate și asupra unor animale supuse unor regimuri neechilibrate în produse naturale, au început să se acumuleze și alte dovezi ale deficiențelor de nutriție.

S-a constatat astfel că anumite rozătoare sufereau la administrarea de regimuri sintetice, dar că adăugarea de mici cantități de lapte restabilea o creștere și o sănătate normală. F. G. Hopkins a semnalat în 1906 faptul că regimurile alimentare formate din proteine purificate, grăsimi, hidrați de carbon și minerale erau insuficiente și că multe alte substanțe prezente în alimentele naturale erau necesare pentru o alimentație bună.

În 1911, E. B. Hart și E. V. McCollum, H. Steenbock și G. C. Humphrey au stabilit faptul că regimurile alimentare formate din cantități echilibrate și suficiente de proteine, de glucide și de grăsimi extrase din grîu sau din ovăz nu sînt suficiente pentru a asigura alimentarea normală a vacilor; dar adăugarea porumbului restabilește echilibrul aducînd anumiți factori complementari.

În 1912, biochimistul polonez Casimir Funk, care lucra la Lister Institute, a dat numele de vitamine acestor factori alimentari ajutători. Izolînd din coaja de orez anumiți compuși azotați, el a considerat că substanțele care protejează organismul împotriva bolii beri-beri sînt „amine vitale“, denumire care a fost prescurtată sub forma de vitamină atunci cînd s-a observat că nu toate substanțele respective sînt amine.

VITAMINA A ȘI CAROTINOIDELE. Diversele experiențe efectuate asupra nutriției animalelor mici, de obicei șoareci albi, au permis stabilirea faptului că pentru a realiza o nutriție satisfăcătoare, în diferite alimente există diverse substanțe, uneori numai ca urme. McCollum (1913) a dovedit că în unt, în gălbenușul de ou și în ficatul de morun există un factor de creștere liposolubil (vitamina A). Mai tîrziu, Steenbock a arătat că acest factor se găsește și în „grăunțele galbene!“ și în legume. S-a presupus că substanța activă din vitamina A este carotina; dar dificultățile de analiză au împiedicat mult timp confirmarea sau infirmarea acestei ipoteze. Cercetările efectuate asupra pigmenților vegetali carotinoizi, în special de R. Kuhn și R. Willstätter în Germania și L. Zechmeister în Ungaria, au dovedit existența unui anumit număr de compuși foarte apropiați. Ulterior, cromatografia a permis separarea acestor diferite substanțe; cu această ocazie s-a constatat că unele dintre aceste carotinoide aveau proprietăți identice cu ale vitaminei A, în timp ce altele erau inactive.

Formula carotinei, $C_{40}H_{56}$, a sugerat existența unui înalt grad de nesaturare. Această ipoteză a fost confirmată în 1928 de Zechmeister, care a stabilit că prin hidrogenare sînt absorbite 11 molecule de hidrogen. S-a dovedit astfel că molecula posedă 11 legături etilenice și două cicluri hexenice iar conjugarea dublelor legături este responsabilă de culoarea galbenă a acestei substanțe. În cursul anilor următori, Zechmeister a reușit să explice izomeria *cis-trans* a carotinelor naturale. P. Karrer din Zürich a stabilit formula generală a β-carotinei după ce a detectat prezența ciclului β-iononic în produsele de oxidare. El a stabilit de asemenea diferența între carotinele α și γ și structura unor pigmenți vegetali foarte apropiați: xantofilele.

Mai tîrziu s-a demonstrat că vitamina A apare în urma asocierii unei jumătăţi din molecula de β-carotină cu un grup alcoolic plasat la sfîrşitul catenei laterale lungi[25].

MINERALE ESENŢIALE. Rolul elementelor minerale în nutriţie a fost lămurit treptat în urma unor studii convergente provenite din diverse direcţii.

Necesitatea anumitor elemente, ca fierul, calciul, fosforul, iodul şi sodiul, a fost stabilită destul de uşor, deşi legăturile lor reciproce nu au fost determinate precis. Necesitatea altor elemente, ca zincul, magneziul, cuprul, manganul, cobaltul şi fluorul, a fost anevoios de stabilit din cauza dificultăţii de a prepara regimuri alimentare lipsite de aceste elemente. Probleme analoage au apărut şi în fiziologia vegetală[26].

PROTEINE ŞI AMINOACIZI ESENŢIALI. Încă din secolul al XIX-lea, s-a observat că anumite substanţe albuminoide — proteinele — sînt indispensabile unei bune alimentări a cîinilor, în timp ce un regim în care proteinele provin din gelatină sau din cereale este insuficient. Numeroase încercări şi analize ale proteinelor au permis stabilirea faptului că aceste substanţe se deosebesc considerabil între ele, în funcţie de aminoacizii pe care îi conţin. Prin 1905, s-a constatat că gelatina nu conţine nici tirosină, nici cistină, nici triptofan. Totuşi, dacă aceşti acizi erau adăugaţi regimurilor alimentare care nu conţineau decît gelatină drept sursă de proteine, în hrana animalelor aceste regimuri continuau să fie insuficiente. Th. B. Osborne din Yale a avut marele merit de a determina compoziţia în aminoacizi a proteinelor vegetale. Experienţele pe care el le-a efectuat cu L.B. Mendel, asupra alimentării cobailor, s-au dovedit deosebit de semnificative încă de la primele studii asupra vitaminelor; de asemenea ele au demonstrat importanţa esenţială a anumitor aminoacizi în alimentaţia animală. Prin 1930, W.C. Rose, de la Universitatea din Illinois, a extins aceste cercetări şi a dovedit necesitatea de a introduce în regimul cobailor zece aminoacizi diferiţi: lizina, triptofanul, histidina, fenilalanina, leucina, izoleucina, treonina, metionina, valina şi arginina. Cercetările ulteriare ale lui Rose au permis stabilirea faptului că alimentaţia omului necesită aceiaşi aminoacizi, cu excepţia argininei şi histidinei.

3. Studii asupra metabolismului intermediar

În cursul secolului al XX-lea, s-au realizat progrese importante şi în studiul transformărilor suferite de alimente după intrarea lor în organism. La începutul secolului, natura globală a procesului digestiv era destul de bine înţeleasă, în timp ce asupra metabolismului celular existau puţine informaţii. Pînă în 1935, înţelegerea acestui mecanism a progresat foarte lent, dar de atunci au fost descoperite numeroase fapte privind natura şi funcţia enzimelor, unele dintre produsele intermediare ce intervin în fermentaţia alcoolică, precum şi anumiţi compuşi temporari care apar în cursul metabolismului zaharurilor, în celulele vii. Coordonarea acestor diferite cunoştinţe noi a fost abordată de cercetători, ca C. şi G. Cori şi Hans Krebs, care au dovedit că aportul de energie în organism se realizează în cursul unei succesiuni complexe de etape controlate de enzime[27].

---

[25] Studiul altor vitamine este expus de R. Debré şi G. Desbuquois (pp. 844—848).
[26] Vezi şi studiul lui J. F. Leroy (p. 777—778).

METABOLISMUL GRĂSIMILOR. Deşi soarta grăsimilor în cursul metabolismului celular a constituit obiectul unor importante studii, numeroase probleme referitoare la acest subiect au rămas nelămurite. La începutul secolului, F. Knoop a efectuat un remarcabil studiu asupra oxidării acizilor graşi.

El a arătat că urina cîinilor hrăniţi cu acid benzoic sau cu un acid gras, în care gruparea fenil este ataşată unei catene alifatice impare, conţinea acid hipuric, în timp ce, atunci cînd aceste animale erau hrănite cu un acid în care gruparea fenil este situată la extremitatea unei catene alifatice pare, ea conţinea acid fenaceturic. Se dovedea astfel clar că acizii graşi sînt oxidaţi prin intermediul grupării carboxil de la capătul catenei, cu care ocazie sînt înlocuiţi doi atomi de carbon în acelaşi timp.

Ulterior s-a descoperit şi mecanismul altor procese, dar toate schemele de sinteză şi de degradare trebuie să ţină seama de importanţa numărului par de atomi de carbon din acizii graşi naturali.

Concepţiile asupra acumulării grăsimilor în organismul animal au fost reînnoite de R. Schoenheimer în 1935.

Folosind metoda radioizotopilor (vezi p. 397), Schoenheimer a observat că depozitele de grăsimi alimentare din organism apar chiar dacă animalul este supus unui regim sărac în calorii şi că organismul apelează la aceste depozite chiar dacă nivelul caloric al regimului alimentar depăşeşte necesităţile zilnice. S-a constatat de asemenea o situaţie dinamică similară a proteinelor din organism.

După ce a efectuat experienţe asupra unor cobai supuşi unor regimuri alimentare care conduceau la îngrăşarea ficatului, Vincent du Vigneaud a recunoscut importanţa transmetilării şi cerinţele organismului faţă de anumiţi compuşi care conţin grupări metil uşor detaşabile (metionină, cholină, betaină).

METABOLISMUL AZOTULUI. Se ştie de mult timp că ureea este un produs final al metabolismului proteinelor, dar mecanismul producerii sale nu este încă perfect cunoscut. Studiul reacţiilor de transaminare a început prin 1930, cînd s-a observat că schimbul între grupările amino şi grupările ceto se realizează uşor sub influenţa transaminazelor. Cu ajutorul compuşilor marcaţi cu azot-15, s-a putut stabili prezenţa azotului marcat în grupările amino ale altor aminoacizi prezenţi în ţesuturi.

O sursă directă de uree a fost descoperită de A. Kossel şi H.D. Dakin care, în 1904, au stabilit că o enzimă, arginaza, provoacă hidroliza argininei în uree şi în ornitină. Formarea argininei, cu gruparea sa finală puternic azotată, a fost lămurită în 1932 de Krebs care a arătat că aminoacizii, arginină şi citrulină, stimulează formarea ureei în ficat. El a sugerat atunci un mecanism ciclic: ornitina reacţionează cu amoniacul şi cu gazul carbonic pentru a forma citrulină, iar aceasta reacţionează apoi cu amoniacul pentru a furniza arginină[28].

---

[27] Vezi şi studiul lui R. Kehl (pp. 624—628) şi J. F. Leroy (pp. 762—768).

I. CONCLUZII

În cursul secolului al XX-lea, chimia a trecut de la situaţia unei ştiinţe tinere, la situaţia unei ştiinţe majore, care se bazează pe legi fundamentale şi care aduce importante contribuţii la celelalte ştiinţe, în medicină, în industrie şi în agricultură. Din această cauză, cercetarea chimică a dobîndit un loc important, nu numai în universităţi, ci şi în programele industriale şi în planurile guvernamentale.

În cursul acestui secol, interpretarea matematică a fenomenelor chimice a devenit foarte curentă. Punctul de vedere fizico-chimic a pătruns şi în celelalte ramuri ale chimiei, apărînd chiar în domeniul organic şi cel biologic. Metodele instrumentale au ajuns la o mare dezvoltare în chimia analitică şi în studiul relaţiilor structurale, permiţînd obţinerea rapidă a unor informaţii inaccesible prin metode tradiţionale.

Apariţia colectivelor de cercetare reprezintă un fapt deosebit de important. Aceste colective sînt adesea formate din grupuri de specialişti care reprezintă nu numai diferite ramuri ale chimiei, ci şi matematica, electronica, organizarea şi chiar biologia şi medicina.

Cercetarea şi descoperirea dobîndesc astfel un caracter colectiv care n-a fost niciodată atît de accentuat în trecut; astfel, memoriul care prezintă descoperirea einsteiniului şi a fermiului este semnat de 16 savanţi. Rolul istoricului în lămurirea evenimentelor care conduc la fapte noi şi la noţiuni noi devine din ce în ce mai dificil, datorită marelui număr de cercetători, accelerării evoluţiei cercetării şi tendinţei de a publica descoperirile într-un mod din ce în ce mai concis şi fragmentar.

Problema creşterii volumului literaturii de chimie constituie o preocupare foarte actuală, deoarece un specialist întîlneşte astăzi dificultăţi enorme în urmărirea dezvoltării propriului său domeniu. Revistele cu rezumate analitice şi cu extrase încep să se lovească de aceleaşi obstacole, datorită numărului mereu crescînd al publicaţiilor originale.

Un aspect actual foarte semnificativ este cel al legăturilor reciproce dintre chimie şi celelalte ştiinţe. Botanica şi zoologia sînt în curs de a suferi o evoluţie profundă în însuşi caracterul lor, în urma studiilor chimice asupra acţiunii enzimatice, asupra metabolismului celular, asupra compoziţiei materialelor genetice şi asupra nutriţiei animale şi vegetale. Geologia se interesează nu numai de compoziţia chimică şi de structura cristalină a mineralelor, ci şi de reacţiile termodinamice implicate în procesele terestre. Astronomia şi fizica sînt profund interesate de natura materialelor moleculare, atomice şi nucleare, supuse unor condiţii anormale.

---

[28] Diferite alte aspecte ale biochimiei sînt analizate în capitolele de biologie: hormonii sînt studiaţi de R. Kehl (pp. 656—663) şi de R. Debré şi G. Desbuquois (pp. 849—857) iar cercetările asupra fotosintezei sînt expuse de J. F. Leroy (pp. 765—777).

Cercetările actuale din domeniul chimiei conduc la concluzia că trebuie acordată o atenţie cu totul deosebită legăturilor reciproce la nivel molecular. Deşi structura majorităţii compuşilor convenţionali a fost lămurită în mod satisfăcător, mai rămîne de rezolvat o problemă importantă, referitoare la compuşii organici sau minerali neobişnuiţi.

Astfel de studii trebuie să conducă la o mai perfectă cunoaştere a naturii legăturilor chimice şi a relaţiilor energetice ce intervin în cursul transformărilor cu caracter chimic.

■

Notă. O comparaţie chiar succintă între capitolele rezervate celor două ştiinţe înrudite — fizica şi chimia — scoate de la început în evidenţă un mod inegal în tratarea acestora. Spaţiul acordat chimiei este surprinzător de redus. Pînă şi industriile chimice organice, care au impulsionat producţia de materiale plastice, fibre sintetice, elastomeri, antidăunători etc., revoluţionînd pe drept cuvînt civilizaţia actuală, sînt amintite pe dimensiunile unei singure pagini. În astfel de condiţii, tabloul inedit al realizărilor chimiei contemporane şi rolul acestora în viaţa societăţii moderne este greu de cuprins.

O carenţă mai subtilă a capitolului de chimie, care scapă uşor unui cititor neavizat, este generată de neglijarea forţelor motrice interne şi externe, hotărîtoare în evoluţia chimiei. Este vorba, pe de o parte, de cerinţele impuse de dezvoltarea societăţii şi, pe de altă parte, de marile întrebări şi enigme ce însufleţesc avîntul spre creaţie.

Factori de această natură au acţionat asemenea unor pivoţi, preluînd în mişcarea lor influenţa mutaţiilor survenite în ştiinţele adiacente — fizica şi biologia.

Este ştiut că edificiul grandios al chimiei moderne s-a clădit cu o contribuţie esenţială din partea acestor ştiinţe. Probleme ca: natura legăturii chimice, noţiunea de macromoleculă şi reacţie de polimerizare, conceptul de aromaticitate, noutăţile aduse de chimia element-organică, elucidarea acţiunii catalitice a enzimelor, aplicaţiile marcajelor izotopice, utilizarea metodelor fizice în stabilirea structurii compuşilor organici şi a mecanismelor de reacţie şi multe altele interferă undeva la frontiera formală care separă cele trei ştiinţe, concurînd spre acelaşi ţel — înaintarea pe trepte superioare ale cunoaşterii.

Progresul chimiei, ca şi al altor ştiinţe, a fost înfăptuit de personalităţi din întreaga lume, care, prin forţa lor de creaţie şi spirit de sacrificiu, au participat direct la îmbogăţirea tezaurului de valori nemuritoare ale omenirii.

Printre aceştia, se cuvine a fi amintite şi o serie de figuri ilustre din ţara noastră, care, alăturîndu-se străduinţelor din exterior, au pus bazele cercetării ştiinţifice şi ale unei industrii chimice proprii.

Fondatorii şcolii româneşti de chimie şi, în acelaşi timp, pionieri ai cercetării ştiinţifice sînt cei doi mari savanţi: Petru Poni, la Iaşi, şi C. Istrati, la Bucureşti. Petru Poni (1841—1925) desfăşoară la Universitatea din Iaşi o activitate neobosită pentru organizarea învăţămîntului chimic superior şi a cercetării. Studiile sale asupra mineralelor, apelor minerale şi petrolului românesc sînt primele de acest gen şi au avut, la timpul lor, rolul de a pune în valoare bogăţiile solului nostru.

Alături de Petru Poni, dr. C.I. Istrati (1850—1918) a fost una dintre personalităţile eminente ale şcolii româneşti dinaintea primului război mondial. Lucrările efectuate în clasa compuşilor halogenaţi şi a unor coloranţi organici, denumiţi „franceine“, îl consacră drept iniţiator al cercetării ştiinţifice în domeniul chimiei organice. Profesorul C. Istrati a publicat şi una dintre primele monografii din lume referitoare la nomenclatura compuşilor organici.

La Universitatea din Iaşi, şcoala de chimie organică a fost întemeiată de prof. Anastasie Obregia (1864—1937). Contribuţia sa ştiinţifică se impune prin studii în clasa coloranţilor şi a oximelor şi prin cercetări asupra compoziţiei petrolului românesc.

De numele lui Petru Bogdan (1873—1944), primul profesor de chimie fizică din ţară, se leagă începuturile preocupărilor ştiinţifice în domeniul chimiei fizice. Ocupînd postul de profesor la Universitatea din Iaşi, Petru Bogdan s-a distins prin interpretări originale date structurii fazei lichide şi a unor fenomene electrochimice.

Din generaţia de chimişti interbelică, răzbat cu rezonanţe deosebite pînă în zilele noastre figurile a doi contemporani ai acelor vremuri: profesorul G. Longinescu (1869—1939) la Universitatea din Bucureşti şi Neculae Costăchescu (1876—1939) la Universitatea din Iaşi. Formaţia lor în domeniul chimiei anorganice şi analitice a lăsat repere neşterse pentru generaţiile care au urmat.

Neculae Costăchescu rămîne în istoria chimiei româneşti ca fondator al şcolii de chimia combinaţiilor complexe. Contribuţiile aduse la studiul reacţiei de nitrare a hidrocarburilor aciclice saturate din petrol se înscriu cu prioritate în cercetările vremii. Doctoratul, pe care l-a susţinut în anul 1905 sub conducerea lui Petru Poni, are şi semnificaţia primului doctorat de chimie în România.

G.G. Longinescu s-a remarcat prin înclinaţii deosebite spre munca didactică, fapt reflectat din plin în manualele de chimie pe care le-a scris. Din creaţia sa ştiinţifică se reţine relaţia de calcul al temperaturilor de fierbere, aplicabilă lichidelor organice.

Discipoli ai profesorului N. Costăchescu şi continuatori ai operei sale pînă după cel de al doilea război mondial sînt profesorii Gh. Spacu şi Radu Cernătescu.

Gh. Spacu (1883—1955) a dezvoltat la Cluj şi Bucureşti o şcoală de chimie analitică, al cărei prestigiu a depăşit hotarele ţării. Cercetările originale în clasa combinaţiilor complexe şi metodele analitice pe care le-a creat îl situează printre oamenii de ştiinţă de înaltă factură.

Radu Cernătescu (1894—1958) este cunoscut ca un ilustru profesor de chimie anorganică şi analitică al Universităţii din Iaşi. Împreună cu colaboratorii săi Radu Ralea (1908—1966) şi Margareta Poni a investigat clasa combinaţiilor complexe, punînd totodată bazele şcolii de polarografie ieşene.

O pleiadă de chimişti organicieni din toate centrele universitare vechi, care au păşit prin activitatea lor şi în cea de-a doua jumătate a secolului nostru, este formată din profesorii: Dan Rădulescu, Aurel Ionescu, Ion Tănăsescu, Adrian Ostrogovich, Eugen Angelescu, C.V. Gheorghiu şi Ilie Matei.

Dan Rădulescu (1884—1969) este autor al unor lucrări în domeniul izomeriei optice fără carbon asimetric, avînd meritul de a fi sintetizat primele combinaţii de tip spiranic. Este, de asemenea, iniţiatorul utilizării spectrofotometriei la studiul substanţelor organice.

Aurel Ionescu (1902—1954) a întreprins cercetări laborioase asupra pirolizei metanului, în scopul fabricării acetilenei.

Ioan Tănăsescu (1892—1959) a fost primul doctor în chimie al Universității române din Cluj. Din numeroasele sale lucrări, amintim doar sinteza unor combinații heterociclice din clasa acridinei, cunoscută sub numele de reacția Lehmstedt-Tănăsescu.

Adrian Ostrogovich (1870—1954), italian de origine, a fost profesor la Cluj, unde a inițiat cercetări în clasa triazinelor. Este primul om de știință din țara noastră care a susținut la București, în anul 1907, examenul de docență.

Eugen Angelescu (1896—1968) a efectuat, la catedra de chimie organică de la Universitatea din București, studii sistematice în chimia coloizilor. Acțiunea dublă, de solvatare și de dispersie, exercitată de un agent liofilizant, adăugat soluției coloidale, a intrat în patrimoniul științei sub denumirea de „efect Angelescu".

C.V. Gheorghiu (1894—1957) a fost succesorul profesorului Anastasie Obregia, la catedra de chimie organică a Universității din Iași. Contribuția sa științifică cuprinde mai multe direcții de cercetare: reacții ale izotiocianaților, sinteze de formazani, substanțe cu acțiune chimioterapică.

Ilie Matei (1895—1969) s-a format în aceeași școală a lui Anastasie Obregia. Ca profesor la catedra de chimie organică din Institutul politehnic din Iași, a dezvoltat cercetări în clasa derivaților carbonilici. Pe linie aplicativă, a întreprins studii asupra uleiurilor eterice din frunzele de conifere și a realizat sinteza unui cauciuc poliuretanic, care va intra în fabricație la C.F.S. Săvinești.

Din perioada la care ne-am referit datează și începuturile preocupărilor în domeniul tehnologiei chimice. Prof. M. Dănăilă (1878—1953) este primul profesor în această specialitate, care a inițiat cercetări asupra petrolului și cărbunilor românești.

Prof. I. Blum (1893—1975) a creat la București o școală de chimizarea cărbunilor. Prof. Emil Severin (1869—1932) este autorul unei monografii dedicată studiului petrolului.

La Iași chimia tehnologică este reprezentată de Cristea Niculescu Otin (1879—1954), care este considerat fondatorul școlii românești de tăbăcărie.

Printre înaintași, este locul să amintim și numele a doi savanți care și-au desfășurat activitatea în afara granițelor țării. Este vorba de Neculae Teclu (1839—1916), descoperitorul becului de gaz „Teclu" și Lazăr Edeleanu (1861—1941), autorul procedeului de extracție a hidrocarburilor aromatice cu bioxid de sulf lichid.

Fără a epuiza lista chimiștilor români din trecut, cu contribuții originale, ajungem la perioada contemporană.

Cercetarea științifică se sprijină și astăzi în bună parte pe activitatea desfășurată în catedrele învățămîntului chimic superior. În ultimii ani s-a pus acut problema reorganizării acestui învățămînt, ajungîndu-se la formele actuale de Institut de chimie și inginerie chimică la București și Facultate de chimie și inginerie chimică la Iași. În toate facultățile cu profil chimic din țară există un număr însemnat de oameni de știință și cadre didactice valoroase, care dezvoltă în cercetare domeniile cele mai variate ale chimiei și tehnologiei chimice.

Chimia organică este reprezentată prin mai multe nuclee de cercetare. Unul dintre ele s-a format în jurul acad. Costin D. Nenițescu (1902—1970), autoritate recunoscută atît pe plan național, cît și în lumea chimiștilor din exterior. Numele său va rămîne legat de sintezele descoperite în clasa indolului, care au fost acceptate în literatură ca „reacții Nenițescu". Primul izomer de valență al [10] anulenei obținut în lume este de asemenea cunoscut ca „hidrocarbură Nenițescu". Profesorul Nenițescu a inițiat, pe plan mondial, aplicațiile catalizei prin clorura de aluminiu în domeniul hidrocarburilor saturate și a adus contribuţii remarcabile la teoria transferului ionilor de hidrură în aceste reacţii. De asemenea, este unul din primii cercetători cu metode moderne a ciclobutadienei şi derivaţilor ei.

Experienţa didactică şi erudiţia de mare savant se vor transmite şi generaţiilor următoare prin intermediul tratatelor de chimie organică şi chimie generală, care au fost editate în mai multe limbi.

O creaţie importantă a profesorului Neniţescu este şcoala de cercetare pe care a format-o la Politehnica din Bucureşti. Împreună cu colaboratorii săi apropiaţi, profesorul C.D. Neniţescu a adus contribuţii însemnate la dezvoltarea chimiei hidrocarburilor.

De numele profesoarei Margareta Avram se leagă cercetări în domeniul compuşilor cu inel ciclobutanic, reacţii ale acetilenelor cu metale tranziţionale şi editarea a două monografii privind spectrele infraroşii şi chimia antidăunătorilor agricoli. Prof. Ileana Necşoiu a elucidat mecanismul izomerizării alchilbenzenilor şi al oxidărilor cu clorură de cromil. Prof. Alexandru T. Balaban este unul din descoperitorii „sintezei Balaban-Neniţescu-Praill“ a sărurilor de piriliu şi a preparat noi radicali liberi stabili. Împreună cu o serie de colaboratori a iniţiat lucrări de marcare izotopică a compuşilor organici, aplicînd totodată teoria grefurilor la chimie. Conf. Florin Badea, conf. Iuliu Pogany şi M. Banciu sînt autorii unor monografii valoroase.

Pe linie aplicativă, C.D. Neniţescu, în colaborare cu Al. Huch şi C. Huch, a brevetat şi aplicat industrial un procedeu original de obţinere a polietilenei de joasă presiune. Contribuţii deosebite sînt de semnalat şi în activitatea dusă în cadrul Centrului de chimie organică, unde împreună cu acad. Ecaterina Ciorănescu-Neniţescu a pus la punct numeroase sinteze de medicamente, antidăunători, monomeri etc.

Continuînd opera înfăptuită de prof. C.D. Neniţescu, colaboratoarea sa, acad. Ecaterina Ciorănescu-Neniţescu a întreprins mai departe studii teoretice asupra mecanismului unor reacţii solvolitice, însoţite de lărgiri şi îngustări de cicluri şi a imaginat metoda de acilare reducătoare a olefinelor.

Un domeniu îndrăgit, în care acad. Ecaterina Ciorănescu-Neniţescu a dat mult din forţa sa de creaţie, este cel al medicamentelor de sinteză. Pe lîngă realizarea de substanţe farmaceutice, cu aplicaţii în terapeutică, cercetările s-au finalizat şi în descoperirea unor relaţii ce leagă structura chimică de activitatea fiziologică. Un moment important în afirmarea personalităţii ştiinţifice a acad. Ecaterina Ciorănescu-Neniţescu îl constituie apariţia tratatului „Medicamente de sinteză“, lucrare de mari proporţii, care deţine în specialitate o întîietate binemeritată.

La Facultatea de chimie din Bucureşti îşi desfăşoară activitatea un grup de cercetători care aduc contribuţii substanţiale la progresul chimiei organice în ţara noastră. Lucrările prof. Nicolae S. Bărbulescu, privind sistemele biciclononanice, ca şi cele ale conf. O. Maior în clasa heterociclilor cu sulf, seleniu şi telur, sînt reprezentative în acest sens.

Prof. I. Zugrăvescu, la Universitatea din Iaşi, se ocupă cu studiul ilidelor şi al unor polimeri termorezistenţi. Cercetările în clasa ilidelor sînt duse mai departe de colaboratoarea sa, prof. Magda Petrovanu. Un grup mai larg de cercetători, condus de acad. Cristofor Simionescu, dezvoltă cu succes chimia derivaţilor acetilenici.

La Universitatea şi Institutul de chimie din Cluj, pe prim plan se situează lucrările în domeniul heterociclilor, realizate de prof. Maria Ionescu, conf. Sorin Mager şi dr. I. Silberg. Un loc special şi un bine meritat renume îl au cercetările în chimia produşilor naturali, iniţiate de prof. Cornel Bodea şi dr. doc. Francisc Hodoşan.

La catedra de chimie organică de la Institutul politehnic din Timişoara, prof. G. Ostrogovich şi conf. Radu Bacaloglu au efectuat sinteze şi studii teoretice în clasa triazinelor şi a produşilor de condensare ai ureii.

În domeniul chimiei anorganice, şcoala din Cluj aduce pe prim plan figura proeminentă a acad. Raluca Ripan (1894—1975). Continuînd opera începută de G. Spacu, personalitatea sa a dominat şcoala de chimie analitică românească, la al cărei progres a contribuit sub multiple forme, printre altele prin editarea unor manuale de largă utilitate. O realizare dintre cele mai însemnate se regăseşte în înfiinţarea şi dezvoltarea Centrului de chimie din Cluj.

Pe tărîm ştiinţific, acad. Raluca Ripan este autor al unor cercetări originale în clasa combinaţiilor complexe, cu largi aplicaţii în chimia analitică. La fel de cunoscute sînt lucrările efectuate pe soluţii de izo- şi heteropoliacizi, care au adăugat aspecte noi la cunoaşterea proprietăţilor soluţiilor concentrate. Prof. G. Macarovici a sintetizat complecşi cu liganzi organici. Prof. Ionel Haiduc a întreprins cercetări asupra compuşilor ciclici anorganici şi metaloorganici, pe care i-a prezentat şi în monografiile sale.

La Bucureşti, prof. P. Spacu, împreună cu colaboratoarele sale, prof. Constanţa Gheorghiu şi prof. Margareta Brezeanu, continuă tradiţia de cercetare în domeniul complecşilor anorganici. Aceeaşi chimie a complecşilor este dezvoltată la Iaşi de prof. Tiberiu Golgoţiu.

La Institutul politehnic Timişoara, acad. Coriolan Drăgulescu abordează studiul complecşilor chelatici în medii neapoase. Cercetările s-au concretizat prin importante aplicaţii în analiza şi tehnologia metalelor rare şi disperse. De importanţă practică deosebită este contribuţia sa la separarea unor metale ca niobiu, tantal şi beriliu, din minereuri indigene. Prof. C. Drăgulescu este în acelaşi timp fondatorul Centrului de chimie din Timişoara.

Chimia fizică se grupează în jurul şcolii create de acad. Ilie Murgulescu. Personalitate din cele mai impunătoare, prof. Ilie Murgulescu îşi consacră întreaga energie creşterii importanţei disciplinei de chimie fizică în învăţămîntul şi cercetarea ştiinţifică din ţara noastră. Înfiinţarea Centrului de chimie fizică din Bucureşti este întruchiparea năzuinţelor şi strădaniilor neobosite de a forma rezerva de specialişti, care să pună în valoare mijloacele oferite de chimia fizică modernă. Preocupările ştiinţifice ale acad. Ilie Murgulescu se extind pe mai multe domenii: chimie fizică, chimie anorganică şi analitică. Contribuţii valoroase sînt aduse în problema complecşilor anorganici, din al căror studiu s-au desprins concluzii inedite în ceea ce priveşte formarea lor şi natura legăturilor de coordinaţie. Cu totul reprezentative sînt cercetările efectuate asupra amestecurilor de săruri topite, în vederea stabilirii unor proprietăţi termodinamice. Într-o serie de lucrări aparţinînd cineticii şi termodinamicii chimice sînt prezentate studii de detaliu referitoare la descompunerea termică a metanului, disocierea carbonatului de calciu, oxidarea metalelor, care prin natura lor sînt de un vădit interes practic.

Între discipolii săi, prof. Victor Em. Sahini s-a impus cu autoritate în aplicarea metodelor mecanicii cuantice la tratarea teoretică a legăturii chimice şi a reactivităţii moleculelor iar prof. R. Vîlcu în dezvoltarea termodinamicii chimice.

Prof. I.A. Schneider, format în aceeaşi şcoală a profesorului I. Murgulescu, a dezvoltat la catedra de chimie fizică din Iaşi cercetări în domeniul cracării şi oxidării metanului, precum şi studii de destrucţie a polimerilor în condiţii termice.

La Cluj amintim şcoala de chimie fizică a prof. Ioan Cădariu. Emil Chifu aduce contribuţii originale în chimia fizică a interfeţelor şi a coloizilor. Prof. Liviu Oniciu este cunoscut prin lucrări referitoare la conversia electrochimică de energie şi prin aplicaţii ale radioizotopilor în chimie.

Universitatea din Craiova prin prof. G. Niac dezvoltă domeniul cineticii chimice omogene şi eterogene. La Timişoara, profesorul Zeno Simon abordează studiul fenomenelor chimice şi biochimice de pe poziţiile avansate ale teoriei cuantice.

În chimia analitică se continuă şi în zilele noastre tradiţia înaintaşilor.

Prof. Candin Liteanu, la Cluj, este cunoscut ca autor al unei metode originale de cromatografie cu gradient de concentraţie. Profesorului Z. Gropşeanu de la Timişoara îi aparţine o metodă de decelare a concentraţiilor mici de oxid de carbon. La Bucureşti se remarcă cercetările în chimia analitică ale profesorului Grigore Popa.

Un domeniu în care cercetarea românească s-a impus la nivel mondial este cel al petrochimiei. D-rul C.N. Debie şi prof. Mihai Bogdan (1908—1975) şi-au dat un aport preţios la înfiinţarea Institutului Petrochimic şi a Institutului de cercetări petrochimice din Ploieşti. Profesorii Sergiu Raşeev şi V. Vântu sînt autori ai unor monografii valoroase privind prelucrarea şi chimizarea petrolului. Prof. Gh. Suciu dezvoltă în aceeaşi direcţie problemele de inginerie chimică. Prof. Dumitru Săndulescu, coordonator al mai multor ediţii ale Manualului inginerului chimist, desfăşoară cercetări privind aplicaţiile chimiei fizice şi analitice în industria petrochimică.

Realizări deosebite sînt de menţionat şi în alte sectoare ale chimiei aplicative. Prof. Ulysse Corina şi ing. Iuliu Moldovan se preocupă de rezolvarea necesităţilor actuale şi de perspectivă în materie de îngrăşăminte şi antidăunători agricoli. Prof. D.A. Isăcescu şi dr. I.G. Gavăt sînt reprezentativi pentru domeniul important al răşinilor sintetice. Tehnologia farmaceutică îşi datorează în parte succesele lucrărilor prof. Iosif Selmiciu şi Flavian Ciuban. Chimia metalelor neferoase este dezvoltată prin contribuţiile originale ale ing. Teodor Segărceanu. Şcoala de tăbăcărie românească este dominată de personalitatea prof. G.V. Alexa. Profesorii Ion V. Nicolescu şi Alexe Popescu (1927—1974) deţin rezultate interesante în aplicaţiile catalizei eterogene. Procesele catalitice şi fenomenele de sorbţie sînt studiate la Iaşi de prof. V. Ababei. Macrocinetica proceselor catalitice este îmbogăţită cu noi aspecte de prof. C. Calistru.

În probleme de modelare, automatizare şi optimizare a instalaţiilor industriei chimice, precum şi de intensificare a schimbului de căldură, prof. Ion Curievici se impune prin concepţii originale, care se reflectă în creaţia sa ştiinţifică şi în activitatea desfăşurată la catedră.

Acad. Emilian Bratu a întemeiat în ingineria chimică o şcoală de cercetare de valoare recunoscută. Studiile sale în problema intensificării schimbului de masă şi de căldură rezolvă o serie de aspecte teoretice, legate indisolubil de practica industrială.

Ing. M. Florescu, deţinînd o perioadă îndelungată funcţia de conducător al Ministerului Industriei Chimice, a adus un aport substanţial la introducerea tehnologiilor moderne şi la diversificarea gamei de substanţe chimice fabricate în ţara noastră.

În chimia şi tehnologia celulozei, acad. Cristofor Simionescu este iniţiatorul primelor cercetări, care, prin originalitatea lor, s-au făcut în scurt timp cunoscute peste hotare. În şcoala pe care a format-o, prof. Cristofor Simionescu a efectuat în colaborare cu prof. Vasile Diaconescu studii de structură asupra celulozei şi a celorlalte componente din lemn. Nu au fost neglijate nici aspectele practice, legate de îmbunătăţirea proceselor tehnologice sau de găsirea unor noi materii prime.

Un domeniu înrudit, pe care acad. Cristofor Simionescu l-a dezvoltat fără întrerupere, este cel al compuşilor macromoleculari sintetici. În această direcţie ies în evidenţă o serie de realizări, dintre care se menţionează: reacţiile de grefare, polimerii semiconductori, foto- şi copolimerizarea monomerilor vinilici, studiile mecanochimice şi de fizica polimerilor etc.

Aspectele de mai sus se întregesc, căpătînd dimensiuni reale, dacă se ia în discuţie şi tînăra generaţie de cercetători, care s-au format sub conducerea acad. Cristofor Simionescu în cadrul Institutului de chimie macromoleculară „Petru Poni".

Prof. Şerban Solacolu a aprofundat fizico-chimia silicaţilor, în scopul valorificării acestora în fabricarea cimentului. Prof. Tudor Ionescu a extins domeniul schimbătorilor de ioni. Prof. I. Drimuş a realizat numeroase sinteze de substanţe cu acţiune anticorozivă.

Cercetări aplicative originale s-au efectuat şi în alte centre din ţară. Doctorii Lucreţia Almaşi la Cluj şi Radu Vîlceanu la Timişoara au creat noi insecticide organofosforice. Tot la Timişoara a lucrat prof. V. Cocheci în domeniul depoluanţilor.

Anii construcţiei socialiste au creat climatul favorabil ca cercetarea ştiinţifică să găsească resurse suplimentare de dezvoltare şi în afara activităţii din interiorul catedrelor. O asemenea posibilitate a însemnat, de fapt, o intensificare a ritmului de cercetare şi totodată organizarea acesteia pe principii moderne.

Începînd cu anii 1948—1949 au luat fiinţă o serie de institute de cercetare şi laboratoare uzinale. Apărea pe prim plan problema dotării unităţilor nou create cu aparatură modernă şi un aspect mai esenţial, pregătirea cadrelor de specialişti, care să acumuleze în cel mai scurt timp experienţa necesară activităţii de creaţie pe tărîm ştiinţific. După ani de eforturi susţinute există astăzi o reţea amplă de cercetare, reprezentată prin următoarele unităţi de sine stătătoare:

— Institutul de cercetări chimice — ICECHIM
— Institutul de cercetări-proiectări rafinării şi instalaţii petrochimice ICPRP — Ploieşti
— Institutul de cercetări chimico-farmaceutice ICCF
— Institutul de cercetări pentru produse auxiliare-organice Mediaş, ICPAO
— Institutul de cercetări pentru prelucrare cauciuc şi mase plastice Bucureşti—ICPCMP
— Institutul de cercetări produşi macromoleculari „Petru Poni" Iaşi — IPP
— Institutul de cercetări chimice Cluj
— Centrul de cercetări chimice Timişoara
— Centrul de cercetări chimie fizică Bucureşti
— Centrul de cercetări de chimie organică Bucureşti
— Centrul de cercetări pentru protecţii anticorozive, lacuri şi vopsele, CCPALV
— Centrul de cercetări fibre chimice Săvineşti — CCFC
— Centrul de cercetări îngrăşăminte chimice Craiova CCIC
— Centrul de cercetări produse anorganice Rîmnicu Vîlcea, CCPA.

Complexitatea mereu crescîndă a problemelor puse spre rezolvare cercetării a demonstrat în timp necesitatea reunirii tuturor institutelor şi centrelor de cercetare din sectorul chimiei, inclusiv cercetarea din învăţămînt, într-un institut central de cercetări chimice. Crearea acestui organ a avut de la început rolul de a stabili o politică fermă de cercetare, care să elimine suprapunerile şi să orienteze toate forţele disponibile spre domenii de importanţă majoră pentru economia ţării. Coordonarea activităţii de cercetare trebuia astfel înfăptuită în lumina obiectivelor actuale şi de perspectivă ale industriei noastre chimice. În contextul transformărilor rapide şi de mari proporţii, imprimate dezvoltării României în etapa actuală, o politică adecvată de cercetare implica totodată adoptarea celor mai recente cuceriri ale ştiinţei şi ale tehnologiei contemporane.

Programul de cercetare ştiinţifică a fost, ca urmare, strîns corelat cu principalele sarcini ce derivă din planul cincinal de dezvoltare pe perioada 1976—1980, stabilind direcţii de cercetare pe bază de prognoze şi pentru următoarele decenii.

În realizarea atribuţiilor sale de mare răspundere, ICCCh s-a orientat spre o serie de probleme de importanţă vitală pentru crearea unei industrii chimice moderne. Astfel, cercetările s-au axat pe studii de natura celor menţionate mai jos:

— valorificarea superioară a materiilor prime indigene;
— găsirea de surse noi de materii prime;
— elaborarea de tehnologii originale, competitive cu cele aplicate pe plan mondial, în vederea reducerii importului de produse;
— reducerea consumului de materii prime şi energie;
— protecţia mediului înconjurător şi combaterea poluării.

Din aspectele enumerate reiese cu claritate un principiu fundamental al politicii de cercetare adoptată de ICCCh: caracterul prioritar al problemelor tehnologice, impuse de necesităţile industriei chimice în plin avînt.

O atenţie deosebită se acordă cooperării interdisciplinare. În acest spirit, procesul de integrare cercetare-producţie-învăţămînt constituie cadrul care generează puncte de vedere şi acţiuni comune.

În condiţiile expuse mai sus, cercetarea românească, prin intermediul ICCCh-ului, sub conducerea tov. acad. dr. ing. Elena Ceauşescu, a înregistrat succese remarcabile. Industria noastră chimică are astăzi la dispoziţie numeroase tehnologii originale, care au fost brevetate în ţară şi peste hotare. Între acestea, ilustrative sînt următoarele:

— procedeu de hidrotratare a uleiurilor în scopul obţinerii de uleiuri de motoare cu caracteristici superioare;
— sinteze de monomeri, intermediari şi auxiliari pentru industria materialelor plastice şi a cauciucului;
— tehnologii de obţinere a unor polimeri cu proprietăţi anumite;
— procedee de prelucrare a materialelor plastice pentru obţinerea de articole tehnice şi bunuri de larg consum;
— tehnologii proprii, aplicabile în sinteza de coloranţi, medicamente, produse fitofarmaceutice şi detergenţi;
— catalizatori de diverse tipuri;
— îngrăşăminte complexe;
— tehnologii legate de chimizarea petrolului;
— procedee de fabricare a articolelor tehnice din cauciuc;
— substanţe de înaltă puritate.

Realizările generate de acest cîmp larg de preocupări se valorifică prin punerea în funcţie a numeroase instalaţii, materializînd pe această cale experienţa de cercetare şi proiectare a specialiştilor.

Pe lîngă direcţiile menţionate, se cere subliniat faptul că, atît în institute, cît şi în învăţămînt, se desfăşoară simultan cercetări cu caracter fundamental. Se fac studii referitoare la structura şi proprietăţile compuşilor chimici, făcînd adesea apel la discipline de graniţă, cum sînt chimia fizică, electrochimia, radiochimia etc.

Legat de progresul general, caracteristic vieţii economice şi sociale a României în etapa actuală, ICCCh are şi rolul de a elabora prognoze asupra dezvoltării industriei noastre chimice, punîndu-şi programul de cercetare de perspectivă în acord cu prevederile stabilite.

Institutul central de cercetări chimice, care reuneşte posturile de avangardă ale cercetării chimice româneşti, îşi leagă existenţa şi sistemul actual de organizare de personalitatea acad. dr. ing. Elena Ceauşescu. În colectivul de sub directa sa conducere au fost dezvoltate cercetări extinse şi de mare diversitate în domeniul compuşilor macromoleculari. Rezultate valoroase se înregistrează în studiul unor polimeri şi copolimeri din clasa elastomerilor sintetici. Cercetările aduc o contribuţie însemnată la aprofundarea cunoştinţelor teoretice din domeniu şi, în acelaşi timp, alcătuiesc suportul creării industriei noastre de cauciuc sintetic. În conţinutul lucrărilor se pot găsi, alături de procedee tehnice de polimerizare, indicaţii preţioase referitoare la purificarea monomerilor şi solvenţilor, la selectarea sistemelor catalitice şi caracterizarea fizico-chimică a polimerilor.

Pe lîngă contribuţia ştiinţifică personală adusă la progresul cercetării şi industriei chimice româneşti, acad. Elena Ceauşescu dedică o mare parte din capacitatea sa creatoare eforturilor care se fac la noi în ţară în vederea organizării pe o treaptă superioară a cercetării şi învăţămîntului chimic.

În semn de recunoaştere a meritelor sale ştiinţifice şi a celor de organizator clarvăzător în problemele de perspectivă ale chimiei, acad. Elena Ceauşescu este deţinătoarea a numeroase titluri de onoare în ţară şi străinătate, distincţii care au şi semnificaţia creşterii prestigiului ştiinţei româneşti.

Dacă astăzi rezervele bogate de materii prime ale ţării sînt folosite raţional de o industrie chimică în plină afirmare, o asemenea realizare se datoreşte politicii partidului nostru, care a ştiut să pună în valoare creaţia ştiinţei chimice româneşti.

acad. CRISTOFOR SIMIONESCU,
prof. ALEXANDRU BALABAN

9 aprilie 1976

PARTEA A TREIA

ȘTIINȚELE DESPRE PĂMÎNT ȘI UNIVERS

CAPITOLUL I
Geodezia şi geofizica

Oricît de paradoxal ar putea să pară, ştiinţele despre pămînt nu s-au dezvoltat decît mult timp după ştiinţele despre aştri. Mijloacele de investigaţie rămîn, evident, încă dificile cînd este vorba de interiorul planetei noastre, atît pentru continente, cît şi pentru zona de fund a oceanelor sau pentru atmosfera înaltă.

În acest capitol vom studia trei ştiinţe principale: geodezia, la care vom adăuga gravimetria, seismologia şi geomagnetismul.

Vom prezenta, de asemenea, şi trăsăturile principale ale evoluţiei meteorologiei — inclusiv date despre studiul atmosferei superioare sau aeronomia — precum şi elemente de oceanografie fizică.

Partea cea mai importantă a expunerii noastre va fi rezervată geodeziei, singura ramură care are rădăcini profunde în secolele anterioare. Geodezia este, de fapt, aceea care are baza matematică cea mai complexă şi care a furnizat astronomiei una dintre datele sale fundamentale: raza ecuatorială terestră din care derivă toate măsurătorile astronomice de distanţă.

A. GEODEZIA ŞI GRAVIMETRIA

Scopul esenţial al geodeziei este de a stabili „forma şi dimensiunile Pămîntului". De fapt, această problemă este mult mai complexă decît pare la prima vedere. Pe lîngă caracterul său geometric, problema prezintă şi un aspect dinamic, legat de noţiunile de suprafeţe de nivel şi de potenţial terestru. Ea nu poate fi rezolvată decît prin utilizarea observaţiilor astronomice care se referă la direcţia în fiecare punct a verticalei fizice (normala la suprafeţele de nivel) şi a măsurării acceleraţiei gravitaţiei îndreptată după această verticală: soluţia problemei fundamentale a geodeziei presupune cunoaşterea în amănunt a cîmpului gravitaţiei terestre, atît ca direcţie, cît şi ca intensitate.

METODA ARCURILOR DE MERIDIAN. La sfîrşitul secolului al XIX-lea, problema pur geometrică a formei şi dimensiunilor medii ale Pămîntului era aproape rezolvată prin metoda arcurilor de meridian, care fusese pusă la punct la mij-

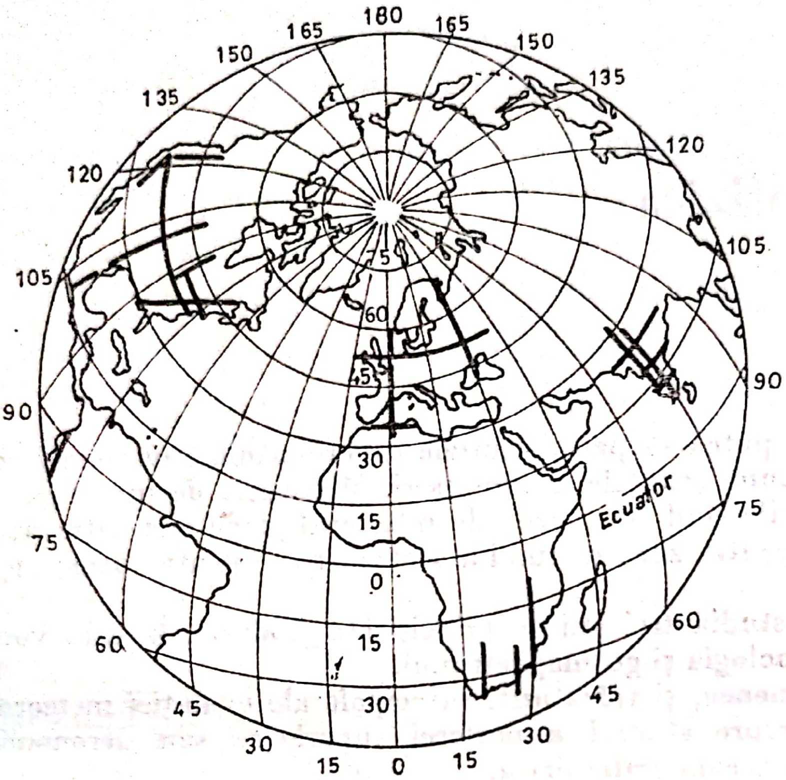


FIG. 26. PRINCIPALELE ARCE DE MERIDIAN ŞI DE PARALELE CUNOSCUTE LA ÎNCEPUTUL SECOLULUI AL XX-LEA.

locul secolului al XVIII-lea şi care, în particular, conduseseră la două expediţii celebre, una în Laponia (1736—37) şi alta în Peru (1735—44).

Secolul al XIX-lea a fost martorul executării a numeroase măsurători de arcuri de meridian, cu atît mai mult cu cît aceste măsurători erau folosite şi pentru triangulaţia normală a ţărilor mari, ca bază de constituire a hărţilor lor. De remarcat multiplicarea unor ample calcule de sinteză făcînd să intervină un număr din ce în ce mai mare de arcuri de meridian, ele însele din ce în ce mai precise (fig. 26).

Deşi rezultatele obţinute au pus în evidenţă uşoare divergenţe, se poate admite că la sfîrşitul secolului al XIX-lea semiaxa mare a elipsoidului terestru era cunoscută cu o precizie de circa 1 000 m (valoare medie: 6 378 000 m), iar turtirea acestuia era stabilită între 1/293 şi 1/300.

În anul 1899 Asociaţia Internaţională de Geodezie a însărcinat Franţa de a relua măsurarea arcului de meridian ecuatorial (Peru, Ecuador) efectuată în secolul al XVIII-lea şi de a face din aceasta o operaţiune de înaltă valoare ştiinţifică.

Expediţia franceză a fost încredinţată Serviciului Geografic al Armatei. Au urmat 8 ani de lucrări neîntrerupte, executate în condiţii excepţional de grele, pe vîrfurile cele mai înalte ale Cordilierei Anzilor. Rezultatele publicate în anul 1907 au fost de o excepţională însemnătate. Printre ofiţerii care au luat parte în întregime sau parţial la aceste lucrări se cuvine a fi citaţi generalul R. Bourgeois (atunci comandant) şi generalul G. Perrier (atunci căpitan).

METODA ARIILOR. Şi iată că în acelaşi an în care expediţia sus-menţionată se întorcea în Franţa (1907), geodezul american J.F. Hayford publica rezultatele lucrărilor sale privitoare la o nouă metodă, incontestabil superioară, care pleca de la suprafeţe (şi nu de la arcuri) şi care a fost denumită metoda ariilor (*the area method*). Ea constă în a căuta corelaţiile ce trebuie aduse elementelor adoptate provizoriu pentru a calcula o triangulaţie (care se realizează pe un teritoriu cît mai mare cu putinţă) astfel încît să se anuleze în mod optim deviaţiile relative ale verticalei constatate în cadrul acestei triangulaţii.

DEVIAŢIILE RELATIVE ALE VERTICALEI. În calculul triangulaţiei unei ţări mari, efectuată pentru o suprafaţă de referinţă adoptată *a priori*, se calculează din aproape în aproape coordonatele diferitelor vîrfuri ale acestei triangulaţii. Se alege un punct de plecare pentru care se adoptă drept latitudine şi longitudine, valori determinate astronomic cu cea mai mare grijă. În acelaşi punct se orientează reţeaua prin măsurarea astronomică a unui azimut de precizie, care va fi apoi transportat de-a lungul suprafeţei de referinţă.

Deoarece coordonatele determinate astronomic se referă la verticala locului de staţie, se poate spune că s-a plasat în spaţiu o suprafaţă de referinţă de dimensiuni adoptate convenţional, astfel încît, în punctul astronomic fundamental, normala la suprafaţa de referinţă coincide cu verticala fizică a locului. Situaţia aceasta nu va putea fi exact aceeaşi pentru toate punctele de pe Pămînt, deoarece nu toate verticalele fizice pot fi normale la o aceeaşi suprafaţă matematică (elipsoid de revoluţie), oricît de bine ar fi aceasta aleasă.

Cu alte cuvinte, dacă într-un punct geodezic oarecare din regiunea cu reţea de triangulaţie se măsoară astronomic coordonatele staţiei, trebuie să se obţină rezultate diferite de cele obţinute prin operaţia geodezică de transport al coordonatelor, efectuată pe baza datelor triangulaţiei. Discordanţa va fi mai mare dacă repartiţia în spaţiu a verticalelor este mai neregulată, adică masele scoarţei terestre sînt distribuite mai neregulat.

Cea mai bună suprafaţă de referinţă ce poate fi adoptată este cea care reduce la minimum suma pătratelor discordanţelor pe care le denumim, destul de impropriu, deviaţii relative ale verticalei. Această noţiune nu a fost introdusă decît în cea de a doua jumătate a secolului al XIX-lea. Folosind 769 de puncte de comparaţii astronomice, Hayford a folosit în 1907 această metodă pentru întreg continentul nord-american.

IPOTEZELE IZOSTATICE. În realitate, Hayford a efectuat calcule mult mai complexe. Deoarece dispunea de hărţi precise, pînă la mari distanţe, el a calculat, pentru fiecare dintre staţiile de comparaţie (dintre cele 769), influenţa pe direcţia verticalei a tuturor elementelor reliefului înconjurător pînă la mai multe mii de kilometri distanţă.

Dar atunci cînd el se aştepta ca în urma acestor calcule să obţină abateri mult mai mici decît discordanţele brute, a găsit valori mult mai mari. Totul se întîmpla ca şi cum, evaluînd influenţa tuturor detaliilor reliefului, el le-ar fi supraestimat, sau ca şi cum masa masivelor muntoase ar fi fost considerată „bombată", cu atît mai mult cu cît relieful era mai pronunţat.

Hayford a refăcut pînă la urmă toate calculele luînd ca bază o ipoteză nouă, cea a izostaziei, formulată de J.H. Pratt, la Calcutta, în 1856.

După acest autor, diferitele suprafeţe de nivel ale globului terestru, care sînt suprafeţe de echilibru, sînt cu atît mai neregulate cu cît masele sînt distribuite mai neregulat în scoarţa terestră. Dar, de la o anumită adîncime, trebuie să existe suprafeţe de nivel de o formă elipsoidală regulată. Elemente de suprafaţă egale ale acestui elipsoid intern trebuie să suporte mase egale deasupra lor: densităţile scoarţei terestre trebuie considerate, pentru fiecare compartiment, ca fiind invers proporţionale cu altitudinea acesteia aflate deasupra primei suprafeţe interne regulate, numită suprafaţă de compensare (fig. 27).

Atenţia geofizicienilor contemporani este îndreptată spre o altă ipoteză izostatică, emisă de astronomul englez G.B. Airy în anul 1855.

După Airy, la o anumită adîncime (pe care majoritatea geofizicienilor o situează la aproximativ 30 km) există o suprafaţă de discontinuitate a densităţilor. Blocurile superioare ale scoarţei terestre, de densitate medie 2,67, ar pluti pe o magmă vîscoasă mai densă, de densitate medie 3,27, afundîndu-se cu atît mai mult cu cît sînt mai grele, adică cu cît ele corespund unor compartimente cu altitudini mai mari. Şi aici apare o compensare a reliefului: compartimentele muntoase înlocuiesc pe o mai mare adîncime materialul de densitate 3,27 cu material de densitate 2,67 (fig. 28).

Calculele efectuate prin una sau alta dintre metode sînt aproape echivalente, dar ipoteza lui Airy este mult mai în acord cu datele geofizicii şi, în particular, cu ale seismologiei.

ELIPSOIDUL INTERNAŢIONAL DE REFERINŢĂ. Rezultatele obţinute de Hayford au fost adoptate în anul 1924 de către Asociaţia Internaţională de Geodezie şi sînt folosite aproape universal:

semi-axa mare a elipsei meridianului terestru a .... 6 378 388 m
turtirea acestei elipse α 1/297

Calculele lui Hayford au fost reluate prin folosirea unor date îmbunătăţite, în special în Statele Unite şi în U.R.S.S. (Krasovski şi Isotov). Rezultatele obţinute pentru a sînt,

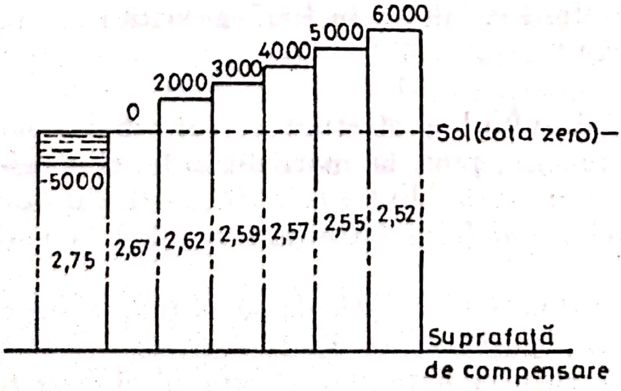


FIG. 27. IPOTEZA IZOSTATICĂ A LUI PRATT.

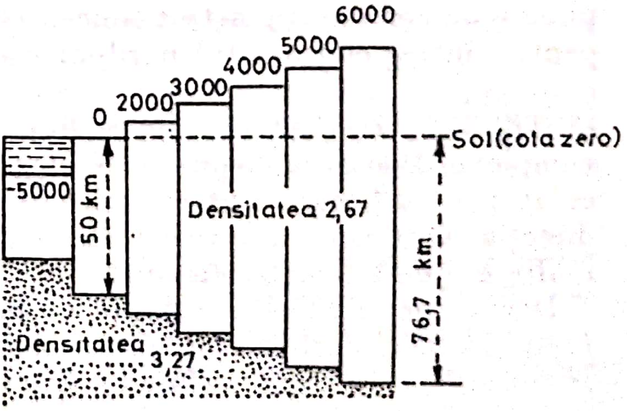


FIG. 28. IPOTEZA IZOSTATICĂ A LUI AIRY PENTRU O ADÎNCIME DE 50 KM.

în general, mai mici cu 100—150 m faţă de cele ale lui Hayford, iar valoarea cea mai probabilă a lui α (confirmată prin studiul orbitei sateliţilor artificiali) este în jur de 1/298,3. Aceste diferenţe nu trebuie însă considerate ca importante. Suprafaţa astfel definită nu este decît o suprafaţă medie, iar suprafaţa de nivel zero a Pămîntului, numită geoid, prezintă „ondulaţii" de aproximativ ±100 m.

Problema esenţială a geodeziei contemporane constă în cunoaşterea abaterilor dintre aceste două suprafeţe; iar aproximaţia lui Hayford este în orice caz suficientă pentru a defini o suprafaţă care poate fi folosită corect drept o suprafaţă matematică de referinţă.

PROGRESELE CONSIDERABILE ALE GRAVIMETRIEI. În secolul al XIX-lea nu erau luate în considerare decît măsurătorile absolute ale intensităţii gravitaţiei. După celebrele măsurători ale lui Borda, se vor face referiri la punerea la punct a pendulului reversibil al lui Kater (1826), la pendulul absolut al generalului Defforges (1887), la pendulul lui Repsold (1880), folosit de Borass şi Furtwaengler la determinarea fundamentală de la Potsdam, utilizată şi în zilele noastre ca staţie de referinţă internaţională. Pentru a atinge precizia cerută de 1 miligal, este necesară cunoaşterea cu o precizie relativă de 10^{-6} a lungimii pendulului folosit şi a corecţiei sale de dilatare, ceea ce este foarte dificil din punct de vedere fizic.

În ultimul timp au fost puse la punct alte metode în care se măsoară elementele căderii libere, fie a unei rigle gradate (Volet la Breteuil, în 1957), fie a unei bile de cristal perfect sferice (A. H. Cook la Teddington, 1962). Obiectul acestor experienţe foarte dificile este să determine o valoare de referinţă capabilă să fie general utilizată şi nu de a obţine numeroase valori de detaliu.

MĂSURĂTORI RELATIVE ALE GRAVITAŢIEI. Încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea s-au realizat măsurători relative ale gravitaţiei cu ajutorul pendulelor *invariabile*. Metoda se bazează pe faptul că, după legea lui Huygens, valoarea lui g într-un punct este invers proporţională cu pătratul perioadei măsurate.

În acest caz nu mai este necesară cunoaşterea lungimilor absolute ale pendulului folosit. Corecţiile ce trebuie aduse măsurătorilor (dacă sînt mici) pot fi considerate ca avînd un caracter diferenţial, cu condiţia ca pendulul să poată fi considerat ca rămînînd invariabil între momentul în care a funcţionat într-un punct A, în care gravitaţia este cunoscută şi un punct B în care se determină valoarea locală a gravitaţiei[1].

Astfel de măsurători relative, mai simple, pot fi efectuate într-un număr mai mare de staţii, formînd, în raport cu o staţie de referinţă, o reţea omogenă suficient de precisă. Ele pot servi, de asemenea, pentru a lega între ele diferitele staţii absolute realizate în diferite ţări, de o manieră care să permită definirea unei staţii de referinţă internaţionale unice.

Printre aparatele pendulare relative care au fost realizate, vom cita pe cele ale francezului Defforges (1895), austriacului von Sterneck (1887), americanului Mendenhall

---

[1] Avantajele aduse aplicării acestei metode de folosire a semnalelor orare radiotelegrafice sînt amintite în studiul lui J. Lévy (pp. 529—530).

(prin 1905), englezului Lenox Conyngham şi ale şcolii de la Cambridge (prin 1935), ale Şcolii Politehnice de la Milano (1960) etc. În ultimele cazuri citate, e vorba de fapt de aplicarea la măsurători terestre a unei idei extrem de fecunde, pusă la punct, în anul 1925, de geodezul olandez F. A. Vening Meinesz pentru măsurători în submarin. Balanţa de torsiune gravimetrică a lui L. Eötvös (1895) a fost, de asemenea, folosită cu succes la măsurătorile gravimetrice relative şi la lucrările de prospecţiuni petroliere.

DETERMINĂRI GRAVIMETRICE MARINE. Aceste măsurători au o importanţă extrem de mare pentru cunoaşterea cîmpului gravific terestru, datorită extinderii oceanelor, precum şi absenţei oricărui relief superficial (relieful fundului oceanelor este în schimb destul de puţin cunoscut).

Un progres considerabil a fost realizat în acest domeniu între anii 1923—1925 de Vening Meinesz care, graţie unui sistem de patru pendule ingenios cuplate, a reuşit să elimine efectul acceleraţiilor longitudinale şi transversale impuse navei de mişcările mării.

Pendulul lui Vening Meinesz a reprezentat un foarte mare progres în studiul cîmpului gravific terestru. Dar el nu putea fi folosit decît la bordul unor submarine imobilizate la cîţiva metri sub apă, ceea ce i-a restrîns considerabil utilizarea.

Orientarea actuală este îndreptată spre aparate ce pot fi folosite pe vase de suprafaţă (pe timp calm). Au fost deja realizate două tipuri de aparate: unul german (Askania-Graf), altul american (Lacoste-Romberg). Ambele folosesc platforme stabilizate giroscopic. Rezultatele obţinute pînă în prezent sînt extrem de promiţătoare, dar se aşteaptă progrese noi în acest domeniu.

GRAVIMETRELE DE INTERPOLARE. Un gravimetru de interpolare este reprezentat de un instrument ce furnizează o „indicaţie“, care este o funcţie de valoarea locală a lui g în punctul în care este pus în staţie. Această funcţie nu trebuie să fie cunoscută, dar trebuie să fie stabilă. În acest caz ea poate fi determinată experimental făcînd să funcţioneze instrumentul în punctele A,B,C . . . . . ., în care se cunosc dinainte valorile g_A, g_B, g_C, ..., determinate, de exemplu, cu ajutorul unor pendule relative. Numeroasele gravimetre de interpolare care există la ora actuală folosesc diferite fenomene care satisfac condiţia precedentă.

Majoritatea acestor aparate posedă fire de torsiune. Unul dintre primele ca dată de realizare (actualmente cu totul depăşit) a fost pendulul invers al lui Holweck — Lejay, pus la punct în anul 1930. Toate prezintă aceeaşi caracteristică: o foarte mare sensibilitate care permite uneori măsurarea sutimii de miligal, dar şi o instabilitate pronunţată, care se traduce prin existenţa unei derive în indicaţiile aparatului. Utilizarea lor s-a generalizat la maxim, atît în geodezie cît şi în prospecţiunea geofizică şi minieră, iar numărul de puncte în care g este cunoscut cu o precizie de cîţiva miligali[2] se cifrează la sute de mii.

---

[2] Un gal corespunde unei acceleraţii de 1 m/s/s. Unitatea curentă, miligalul, corespunde atracţiei unui strat de teren (de densitate medie) cu o grosime de 10 m, sau prezenţei unui strat de 100 m grosime, a cărui densitate diferă cu 10% de densitatea medie a scoarţei terestre.

ANOMALIILE GRAVITAŢIEI. Nu valorile propriu-zise ale lui g sînt acumulate şi publicate, ci abaterile acestor valori în raport cu valorile numite normale şi care ar corespunde elipsoidului internaţional de referinţă, presupus fără relief şi animat de o mişcare de rotaţie de 24 ore. Aceste abateri sînt numite anomalii ale gravitaţiei: nu este vorba, de fapt, de valori „anormale“ ale gravitaţiei, ci de abateri ale valorilor reale în raport cu sistemul de referinţă astfel definit.

Clairaut a fost primul care a dat în 1756 formula distribuţiei acceleraţiei gravitaţiei pe suprafaţa unui elipsoid de revoluţie în rotaţie. Această formulă a fost perfecţionată de numeroşi geodezi şi, în special, de Helmert în 1884, Pizzetti în 1923 şi Somigliana în 1929.

Formula finală este de forma $g_\varphi = g_0 \left(1 + \beta \sin^2_\varphi + \beta_1 \sin^2 2\varphi\right)$. În această formulă g_φ este valoarea lui g la latitudinea φ, g_0 este valoarea lui g la latitudinea zero (gravitaţia ecuatorială), β şi β_1 sînt coeficienţi în definiţia cărora intervin: forma, dimensiunile şi viteza de rotaţie ale elipsoidului considerat.

g_0 nu poate fi practic determinat decît experimental, prin intermediul unor măsurări efectuate la diferite latitudini şi aduse la altitudinea zero. Aceste diferite rezultate trebuie să constituie un ansamblu omogen şi să fie raportate la valoarea de referinţă internaţională; aceasta intervine deci o dată în valoarea normală a gravitaţiei şi o dată în valoarea sa observată în interiorul unei reţele. Anomaliile gravitaţiei nu sînt decît foarte puţin influenţate de nesiguranţa ce poate apărea în această valoare internaţională de referinţă[3].

Formula internaţională a gravitaţiei normale, adoptată în 1930 de Asociaţia Internaţională de Geodezie, este $g_\varphi = 978{,}049\ (1 + 0{,}005288 \sin^2\varphi - 0{,}000006 \sin^2 2\varphi)$. Rezultatele corespunzătoare aplicării acestei formule au fost cuprinse în tabele în funcţie de latitudinea φ (Tabelele lui Cassinis şi Dore, 1933). Valoarea de bază $g_0 = 978{,}049$ a fost reţinută în urma unei lucrări de sinteză publicată de geodezul finlandez Heiskanen în anul 1928.

REDUCEREA VALORILOR OBSERVATE ALE GRAVITAŢIEI. Înainte de a le compara cu valoarea lor normală, valorile observate ale gravitaţiei trebuie reduse la altitudinea zero, adică la geoid. Această reducere poate fi concepută în diverse moduri şi vor fi obţinute valori diferite ale anomaliilor după metodele de reducere folosite. Această problemă a reducerii observaţiilor gravitaţiei este extrem de complexă.

O primă corecţie, numită în aer liber, face să intervină altitudinea punctului de staţie: o eroare de 3 m în determinarea acestei altitudini introduce o eroare de 1 mgal în calcularea corecţiei. Gravimetria şi nivelmentul sînt astfel intim legate.

Corecţiile datorate reliefului înconjurător nu pot fi calculate decît într-un mod schematic şi convenţional. Un calcul simplu constă în presupunerea că o staţie de altitudine H este înconjurată de un platou care are în medie chiar această altitudine. Această corecţie de platou, numită şi corecţia Bouguer, este adeseori suficientă în prospecţiunile geofizice, dar este insuficientă pentru necesităţile geodeziei teoretice. În acest caz, corecţiile de relief trebuie calculate compartiment cu compartiment în jurul staţiei. Acest calcul lung şi laborios necesită folosirea unor hărţi topografice bune care să redea relieful pînă la mari distanţe de staţie. De fapt, aceste corecţii scad iniţial cu depărtarea de staţie, dar apoi încep să crească datorită sfericităţii Pămîntului. Toate calculele efectuate au arătat necesitatea introducerii noţiunii de izostazie (metodele lui Pratt sau Airy) ceea ce conduce la obligaţia de a alege în mod convenţional o adîncime de compensare.

---

[3] Valoarea de referinţă adoptată actualmente şi care se referă la punctul de la Potsdam este mai mare cu 12—15 mgal. Geodezii doresc ca corecţia corespunzătoare să fie efectuată numai cînd ea va fi determinată foarte exact. Anumiţi fizicieni şi metrologi ar dori, dimpotrivă, ca o corecţie, chiar imperfectă, să fie decisă de pe acum.

ANOMALIILE GRAVITAŢIEI ÎN GEOLOGIE ŞI ÎN GEOFIZICĂ. Anomaliile gravitaţiei sînt interpretate mai ales *calitativ* de către geologi şi geofizicieni. În cazul problemelor de geologie superficială, în care prospecţiunea geofizică, petrolieră şi minieră joacă un rol foarte mare, este vorba, în special, de studii locale.

Interpretarea hărţilor izanomale de detaliu permite confirmarea (sau infirmarea), cu o probabilitate deloc neglijabilă, a concluziilor pe care studiul geologic al stratelor vecine le furnizează ca probabile. Principala dificultate provine din faptul că nu se ştie niciodată dacă anomaliile constatate se datoresc unor cauze locale sau unei combinaţii întîmplătoare de influenţe ale unor mase adînci repartizate neregulat. Geofizicienii şi prospectorii folosesc, în special, anomaliile calculate în sistemul Bouguer (al plăcii).

În cazul problemelor de geologie profundă se folosesc mai ales anomaliile izostatice.

Rezultate de un interes excepţional au fost obţinute în acest domeniu de Vening Meinesz în jurul anului 1930 în cursul mai multor campanii de determinări submarine în Oceanul Indian şi în sudul Oceanului Pacific, în special, în regiunea Indoneziei şi Australiei. Trasarea zonelor cu anomalii izostatice pozitive sau negative echivalează în multe cazuri cu descrierea parţială a istoriei anumitor revoluţii geologice ale Pămîntului.

ANOMALIILE GRAVITAŢIEI ÎN GEODEZIE. Anomaliile gravitaţiei sînt folosite de către geodezi într-un mod *cantitativ* pentru rezolvarea problemei generale a geodeziei aşa cum va fi expusă în cele ce urmează.

În anul 1867, G.G. Stokes a stabilit o teoremă devenită clasică, conform căreia atracţia unui corp limitat de o suprafaţă de nivel nu depinde decît de forma acestei suprafeţe şi de masa totală şi nu de distribuţia maselor interioare. Adoptînd în primă aproximaţie elipsoidul de referinţă drept o suprafaţă de nivel, este posibilă utilizarea anomaliilor gravitaţiei (corespunzătoare acestei suprafeţe elipsoidale) pentru determinarea ondulaţiilor geoidului (suprafaţa de nivel reală) în raport cu această suprafaţă.

Stokes a publicat prin anul 1880 şi formula care dă abaterea metrică verticală N dintre geoid şi elipsoid. Această formulă arată că N este rezultatul unei integrări în care intervine o descompunere a suprafeţei terestre în suprafeţe elementare dS, pentru fiecare dintre ele trebuind să fie cunoscută anomalia gravitaţiei. Se admite, de obicei, că aceste valori ar trebui să fie cunoscute pentru orice suprafaţă elementară a suprafeţei terestre cu dimensiuni de ordinul $1° \times 1°$ şi cu mult mai multe detalii în vecinătatea imediată a punctului de staţie. În realitate, numărul de puncte în care g este cunoscut este încă insuficient pentru a permite un calcul de ansamblu precis, mai ales în ceea ce priveşte suprafaţa oceanelor ca şi a regiunilor centrale din Africa sau din America de Sud. Hărţi ale geoidului au fost totuşi publicate şi dau o imagine destul de precisă asupra rezultatelor, a căror exactitate se va ameliora din an în an. Ondulaţiile obţinute au o amplitudine care nu depăşeşte 120 m (± 40 m pentru Europa).

PROBLEMA FUNDAMENTALĂ A GEODEZIEI CONTEMPORANE. Această problemă constă în posibilitatea de a asigura pentru orice punct corespondenţa între coordonatele sale astronomice şi coordonatele elipsoidale referitoare la un elipsoid de referinţă unic pentru întreg Pămîntul. În metoda pe care am descris-o, elipsoidul de referinţă pe care sînt efectuate calculele de triangulaţie era plasat tangent la geoid în punctul astronomic de plecare şi un astfel de punct era adoptat pentru fiecare bloc de triangulaţie (normalele la elipsoid şi la geoid coincideau).

În cazul problemei generale, elipsoidul de referinţă trebuie astfel plasat în spaţiu, încît ansamblul normalelor sale să coincidă *cel mai bine* cu ansamblul verticalelor reale, care reprezintă date fizice experimentale. Pentru a trece de la coordonatele astronomice la cele geodezice, în cadrul acestui sistem general va fi suficientă cunoaşterea unghiului mic ce există între cele două suprafeţe, în punctul considerat. Acest unghi, numit deviaţie absolută a verticalei, ar trebui să fie definit prin cele două componente ale sale: nord—sud şi est—vest.

Numai cînd această problemă va fi rezolvată, se va putea calcula, de exemplu, distanţa dintre un punct de pe continentul european şi un punct de pe continentul american, ca şi azimutul liniei geodezice care uneşte aceste două puncte, lucru pe care nu ştim să îl efectuăm pînă în prezent cu precizie.

Aplicaţiile militare ale acestei probleme sînt suficient de evidente pentru a se înţelege fără dificultate de ce sînt acordate credite importante pentru determinările gravimetrice pe continente ca şi pe suprafaţa oceanelor. Aceasta reprezintă o împrejurare fericită pentru progresul ştiinţei. Mai puţin fericit este faptul că o mare parte a rezultatelor obţinute pînă acum rămîn secrete, dar cel puţin se poate spera că această situaţie nu va dura mult.

Calculul deviaţiilor absolute ale verticalei se obţine prin diferenţierea formulei generale care îl dă pe N după direcţiile N—S şi E—V. Formulele au fost date de Vening Meinesz şi J. de Graaff Hunter prin 1922. Acest procedeu furnizează panta unei suprafeţe în raport cu cealaltă, adică unghiul dintre normalele celor două suprafeţe.

NOUA DEFINIŢIE A ALTITUDINILOR. Această definiţie este mult mai puţin simplă decît ar putea să pară. A spune că Mont Blanc se află cu 4810 m deasupra nivelului mării reprezintă o expresie care dă o imagine, dar care nu are o semnificaţie precisă. Dificultatea esenţială provine din faptul că variaţia lui g pe geoid, în funcţie de latitudine, conduce la o ne-echidistanţare a suprafeţelor de nivel.

Dar instrumentul folosit pentru operaţiile de nivelment de precizie — nivela cu lunetă — serveşte la măsurarea diferenţelor de nivel şi nu a diferenţelor de altitudine. Se poate concepe un astfel de instrument ca deplasîndu-se de-a lungul unei suprafeţe de nivel. Dacă aceasta se găseşte la o altitudine de 1000 m deasupra ecuatorului ($g_0 = 979$), ea nu se va găsi decît la o altitudine de aproximativ 995 m deasupra polului ($g_{90} = 984$).

Aceste noţiuni sînt cunoscute de pe timpul cercetărilor colonelului Goulier (1880), ale lui Helmert (1884) şi ale lui Ch. Lallemand (1890). Lor nu li s-a putut găsi o soluţie definitivă decît după 1954, cînd a devenit posibilă sporirea numărului măsurărilor directe ale lui g de-a lungul liniilor reţelei principale de nivelment, cu ajutorul gravimetrelor cu interpolare.

Pînă în ultimii ani se aduceau rezultatelor brute ale nivelmentului două feluri de corecţii pur teoretice, pentru a ţine seamă de ne-echidistanţarea suprafeţelor de nivel. Expresiile ce dau aceste corecţii se bazau pe formula lui Clairaut şi pe termenul de corecţie datorită altitudinii, calculat după teoria simplificată a lui Bouguer.

După 1955, operaţiile de nivelment, pentru reţelele principale, au fost completate din loc în loc prin numeroase determinări directe ale lui g, la intervale variabile, după relieful şi structura geologică. Pornind de la un punct de plecare (situat la malul mării şi înzestrat cu un maregraf totalizator care permite definirea nivelului mediu al mării în acest punct) se calculează mărimile de tipul ($g.\, dh$) care se însumează din aproape în aproape. Se calculează astfel pentru un punct A oarecare cota sa geopotenţială c, definită prin $c = \sum_0^A g.\, dh$. Pentru a trece apoi la *altitudinea* propriu-zisă a lui A, trebuie împărţit c prin valoarea medie a lui g, adică $\bar{g}$, de-a lungul verticalei în A. Această mărime, a cărei valoare exactă nu ne este cunoscută, poate fi înlocuită printr-o expresie aproximativă; eroarea introdusă reprezintă o eroare individuală care nu influenţează asupra restului reţelei. Aceasta este deci calculată printr-o metodă univocă, independentă de reţea, ceea ce nu era cazul în metodele vechi.

Prin intermediul cotelor geopotenţiale s-a efectuat între anii 1955 şi 1959 o ajustare generală a tuturor reţelelor de nivelment din Europa de vest şi de nord, care a permis efectuarea unor comparaţii extrem de interesante între nivelele medii ale diferitelor întinderi de apă care scaldă coastele Europei: Oceanul Atlantic, Marea Mediterană, Marea Nordului, Marea Baltică. Această operaţie a fost dusă la bun sfîrşit de Asociaţia Internaţională de Geodezie.

B. SEISMOLOGIA

Obiectul esenţial al seismologiei îl constituie studiul seismelor, adică al mişcărilor naturale bruşte ale scoarţei terestre, de scurtă durată, ce iau naştere într-un focar care este întotdeauna de dimensiuni reduse. Toate focarele cunoscute se găsesc la adîncimi mai mici de 720 km faţă de suprafaţa terestră. Energiile eliberate sînt dificil de măsurat, iar intensitatea seismelor este evaluată, de obicei, prin efectele lor, care sînt clasate după o scară convenţională.

DIFERITE TIPURI DE SEISMOGRAFE. Seismologia nu a luat naştere ca ştiinţă decît după ce au putut fi înregistrate, cu seismografe precise şi sensibile, undele provocate de seisme şi care se propagă pînă la mii de kilometri de epicentru (adică punctul de la suprafaţa Pămîntului traversat de raza ce trece prin focar).

Seismografele sînt, în general, de tip pendular, fie orizontal, fie vertical. În principiu, masa oscilantă este foarte mare şi, datorită inerţiei, nu participă decît puţin la mişcarea bruscă a solului, care acţionează direct asupra suportului său. Cu toate acestea, apar oscilaţii care sînt reglate pentru a fi de foarte lungă perioadă şi care sînt forţate prin diverse procedee de a se amortiza rapid. Amplitudinea mişcării trebuie să fie amplificată considerabil, fie prin procedee optice, fie mai ales prin procedee electromagnetice (seismografele lui Galitzin, ale lui Benioff, ale lui Wenner, Coulomb-Grenet etc.). Se pot atinge amplificări de ordinul a 200 000.

DIFERITE TRENURI DE UNDE. Progresele considerabile realizate în tehnica înregistrării şi studiile teoretice şi experimentale asupra diferitelor trenuri de unde înregistrate, precum şi interpretarea lor, au permis seismologiei să devină sursa principală a cunoştinţelor noastre privind interiorul Pămîntului — ca şi unul dintre procedeele cele mai eficace privind prospecţiunea geofizică şi minieră (cu ajutorul pseudo-seismelor provocate prin explozii subterane locale).

Undele înregistrate sînt foarte complexe. Depărtîndu-ne de sursă, se observă o lungire a seismogramei şi o mai bună separare a diferitelor trenuri de unde, care sînt de naturi diferite sau care au urmat traiectorii diferite traversînd Globul pămîntesc sau suprafaţa lui.

În general, se deosebesc trei faze principale, denumite: *P* (unde prime), *S* (unde secunde) şi *L* (unde lungi). Undele *P* şi *S*, ale căror viteze aparente cresc cu distanţa, se propagă prin globul terestru, în timp ce undele *L*, de viteză constantă, se propagă la suprafaţa sa. Primele două au traiectorii concave spre suprafaţa cu care sînt vecine, dar cu viteze diferite, mai mari pentru traiectoriile mai adînci. Faza *P* este constituită din oscilaţie rectilinie în planul de propagare, în timp ce faza *S* este polarizată într-un plan perpendicular (unde longitudinale şi unde transversale). Faza *L* se deosebeşte net, după cum seismograful folosit înregistrează componenta orizontală sau pe cea verticală a

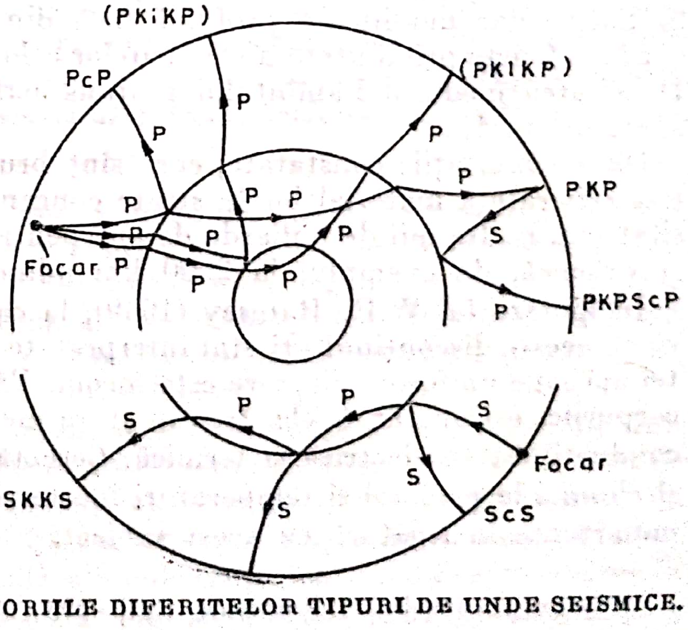


FIG. 29. TRAIECTORIILE DIFERITELOR TIPURI DE UNDE SEISMICE.

oscilaţiei (undele lui Love sau undele lui Rayleigh). Au fost puse la punct diferite metode pentru a studia vitezele de propagare ale diferitelor unde — şi, în special, ale undelor *P* — în funcţie de adîncimea *h*, legea de variaţie astfel stabilită definind forma traiectoriei. Un program internaţional de experienţe seismologice şi de foraje profunde a fost stabilit în vederea coordonării studiilor asupra naturii scoarţei terestre (1962).

INTERIORUL PĂMÎNTULUI. Rezultatele obţinute după 1920 de diferiţi cercetători (H. Jeffreys, B. Gutenberg, C.F. Richter etc.) sînt, în ansamblu, într-un destul de bun acord: distribuţia vitezelor undelor *P* în funcţie de adîncime pune în evidenţă trei discontinuităţi, corespunzînd unor adîncimi de ordinul a 50 km, 2900 km şi 5100 km (vitezele de propagare trec în ultimul caz de la 6 km/s la 11,2 km/s). Aceste discontinuităţi separă patru medii: nucleul intern de rază 1270 km, nucleul propriu-zis de rază 3470 km (adică pînă la 2900 km de la suprafaţă, discontinuitatea Gutenberg, 1913), mantaua, a cărei adîncime începe, după diverşi autori, la 50, 100, 200 sau 400 km şi scoarţa terestră.

Undele *S* nu mai apar dincolo de 3 000 km adîncime. În scoarţa terestră, dimpotrivă, cercetările lui Mohorovičić, apărute în 1909, au scos în evidenţă două faze *P* şi două faze *S* distincte. În general, acest rezultat este interpretat ca fiind corespunzător existenţei unei discontinuităţi la 50 km adîncime (discontinuitatea Mohorovičić), grosimea scoarţei terestre variind într-un mod sensibil sub continente sau sub suprafeţele oceanelor.[4]

Cînd o undă (*P* sau *S*) întîlneşte o suprafaţă de discontinuitate, ea dă adesea naştere fie la unde reflectate, fie la unde refractate. În particular, undele *S* nu mai apar în interiorul nucleului propriu-zis, ceea ce se interpretează ca semnificînd că nucleul se comportă ca un fluid.

IPOTEZA LUI RAMSEY. În zilele noastre se admite adesea că Pămîntul este compus dintr-un „material" mediu de compoziţie iniţial analoagă celei existente în Soare, dar modificată profund, încă din starea iniţială (gazoasă), printr-o evadare foarte pronunţată a elementelor celor mai uşoare pe bază de hidrogen. Densitatea medie a Pămîntului a ajuns astfel de 5,5 în timp cea a Soarelui a rămas de 1,4.

Discontinuităţile constatate, care sînt bruşte, nu par a putea proveni dintr-o separare a materialelor în strate concentrice, deoarece aceasta ar fi necesitat mai multe mii de miliarde de ani pentru a se realiza atît de perfect cum se observă, de exemplu, la 2900 km adîncime.

În ipoteza lui W.R. Ramsey (1949), la care s-au alăturat numeroşi geofizicieni, aceste discontinuităţi sînt interpretate ca transformări de stare a substanţei aproape uniforme din care este format Pămîntul. Peste o anumită presiune, corpurile, oricare ar fi ele, trec în stare metalică, caracterizată printr-o bună conductibilitate electrică şi termică. Cercetările întreprinse în domeniul fizicii şi chimiei la presiuni şi temperaturi foarte ridicate vor aduce desigur lămuriri importante în legătură cu acest subiect.

---

[4] Vezi şi studiul lui R. Furon (pp. 502—503).

Densităţile observate, de 2,7 pentru primii 40—50 km, trec la o valoare apropiată de 3,5 (olivină) la adîncimi mai mari, crescînd apoi progresiv pînă la 5,7. Trecerea la nucleu ar corespunde unei variaţii bruşte de densitate de la 5,7 la 9,3, care ar creşte apoi progresiv pînă la 11,7, sărind apoi brusc la o valoare de aproximativ 17, la depăşirea suprafeţei „nucleului intern".

C. GEOMAGNETISMUL

Folosirea atît de răspîndită a busolei a condus pe geofizicieni la studiul din ce în ce mai precis al diverselor manifestări ale cîmpului magnetic terestru: declinaţia (folosită direct la busole), înclinaţia şi, în fine, însăşi direcţia şi intensitatea cîmpului terestru.

Un prim progres a constat în instalarea, începută încă din cursul secolului al XIX-lea, a unor observatoare magnetice permanente în care instrumente cu înregistrare continuă permit urmărirea variaţiilor în timp ale diverselor elemente ale cîmpului: variaţii cu perioadă scurtă, medie şi lungă. Din aceste măsurători s-au putut deduce valorile probabile ale corecţiilor ce trebuie aplicate elementelor brute măsurate, la un moment şi într-un loc dat, pentru a obţine valorile medii ale acestor elemente.

STUDIUL CÎMPULUI MEDIU. Rezultatele obţinute au permis să se tragă concluzia existenţei unei suprapuneri a unui cîmp mediu cu variaţie lentă şi a unui cîmp suplimentar instantaneu, relativ slab şi cu variaţie constantă. Aceste două componente ale cîmpului magnetic terestru au manifestări şi origini diferite.

Variaţiile cîmpului mediu, definite după anumite convenţii, se traduc printr-o variaţie denumită seculară. Aceste consideraţiuni permit stabilirea unor hărţi ale anomaliilor magnetice, care pot fi locale, regionale sau se pot referi la o ţară întreagă şi chiar la un continent. Indicaţiile furnizate de aceste hărţi trebuie corectate cu variaţia seculară, ţinînd seama de diferenţa de dată.

Cîmpul magnetic terestru a fost deja studiat de Gauss. El a arătat că acest cîmp se datoreşte în întregime unor cauze interne şi derivă dintr-un potenţial scalar; el i-a găsit şi o expresie sub forma unei dezvoltări în serie (1839). Studiul său, neglijat în ultimul secol, a fost reluat şi dezvoltat în ultimii ani şi, în special, prin 1945 de către Vestine în S.U.A., Afanasieva în U.R.S.S., Jones şi Melotte în Marea Britanie şi Chakrabarty în India.

Originea cîmpului mediu şi a variaţiilor sale seculare a constituit în ultimii ani obiectul unor studii deosebit de interesante (Elsasser, Bullard). Teoriile actuale presupun existenţa unor curenţi electrici telurici care iau naştere în nucleul intern, fluid şi conductor. Se consideră că mişcările de ansamblu ale acestui nucleu şi mişcările regionale ale substanţei conductoare se găsesc la originea fenomenelor observate. Astfel, se pun treptat bazele unei hidrodinamici magnetice, care constituie un capitol nou şi plin de promisiuni al studiului magnetismului terestru.

STUDIUL CÎMPULUI SUPLIMENTAR. Studiile cîmpului suplimentar instantaneu nu au fost abandonate ca atare. Afară de o componentă regulată a variaţiei, care are o origine solară diurnă, variaţiile în ansamblul lor au drept cauză primară deplasările sarcinilor electrice în ionosferă şi dincolo de ea. În afară de efectele lor directe, ele provoacă şi curenţi induşi la suprafaţa Pămîntului. Aceşti curenţi, numiţi telurici, sînt studiaţi de mult timp, dar interesul lor a crescut în cursul ultimilor ani, odată cu intensificarea utilizării metodelor de prospecţiune electrică în scopuri geologice şi miniere.

Teoria variaţiei diurne a făcut progrese deosebit de mari prin luarea în considerare a curenţilor din atmosfera superioară, adesea desemnaţi sub numele de „jeturi ecuatoriale". Problema se pune cu totul diferit în cazul regiunilor polare şi, mai ales, pentru zonele numite aurorale, în care au loc aurorele polare. În cazul extrem al furtunilor magnetice unele fenomene solare sînt direct în cauză. Aceste furtuni reprezintă manifestări ale acelor fenomene pe care astrofizicienii le numesc „erupţii" cromosferice solare. Aceste fenomene sînt studiate din ce în ce mai intens, mai ales în cursul ultimilor ani, prin metodele radioastronomiei şi prin punerea în funcţiune a marilor radiotelescoape interferometrice[5]. Fenomenele observate sînt extrem de complexe şi aceasta cu atît mai mult, cu cît metodele de observaţie se perfecţionează şi cu cît numărul acestor observaţii creşte.

Aurorele polare reprezintă manifestări ale anumitor erupţii solare care conduc la emisii de natură corpusculară. Corpusculii sosind în vecinătatea Pămîntului se înfăşoară în jurul liniilor de cîmp ale cîmpului magnetic terestru, în vecinătatea polilor.

Observaţiile magnetice au reprezentat poate partea cea mai importantă a celor doi „ani polari" din 1882—1883 şi 1932—1933 şi poate şi a Anului Geofizic Internaţional, această activitate ştiinţifică gigantică desfăşurată între anii 1957—1959, ale cărei rezultate sînt încă departe de a fi exploatate sau chiar prelucrate. Anumite observaţii au fost continuate. Ele vor fi reluate într-un mod mai general, practic în anul 1964, perioada întinzîndu-se însă şi în anul premergător şi următor acestuia, care corespunde unui minim al activităţii solare, reprezentînd campania cunoscută sub numele de „a Soarelui Calm". Perioada Anului Geofizic Internaţional a corespuns, dimpotrivă, unei perioade de maxim al activităţii solare.

INSTRUMENTE PENTRU MĂSURĂTORI MAGNETICE. Progrese considerabile au fost realizate în construirea instrumentelor şi în modalităţile de utilizare a lor. Dr. La Cour din Copenhaga a realizat prin anul 1930 instrumente devenite clasice şi cu utilizări foarte generale: Q.H.M. (*magnetometrul orizontal cu cuarţ*) şi B.M.Z. (*balanţa magnetică pentru Z*). Rezultatele lor excelente au fost îmbunătăţite prin mărirea deosebită a sensibilităţii lor, în special în vederea studierii variaţiilor cu ajutorul unor instalaţii fixe.

---

[5] Vezi studiul lui J. Rösch (pp. 536—539).

Astăzi, atenţia este îndreptată, în special, spre magnetometrele cu rezonanţă magnetică nucleară şi, în particular, spre magnetometrele cu precesie protonică.

Momentele magnetice ale nucleelor atomilor plasaţi într-un cîmp magnetic F ocupă nivele de energie ale căror tranziţii corespund unor frecvenţe proporţionale cu F. Această frecvenţă este de ordinul a 2 000 Hz în cazul unei intensităţi a cîmpului egală cu cea a cîmpului terestru în Franţa. Măsurarea a devenit posibilă în cazul cîmpurilor slabe cu ajutorul anumitor artificii experimentale puse la punct în 1954. Măsurarea intensităţii absolute a unui cîmp magnetic se transformă astfel în măsurarea unei frecvenţe care astăzi se poate efectua cu precizie şi rapiditate.

Un astfel de procedeu nu furnizează nici o indicaţie asupra direcţiei cîmpului, dar are avantajul de a putea fi instalat la bordul avioanelor pentru efectuarea ridicărilor aeromagnetice ale unor zone întinse, sau chiar în sateliţi artificiali pentru măsurători telecomandate la înălţimi de mai multe zeci de mii de kilometri.

S-au efectuat şi încercări de a studia cîmpul magnetic terestru în trecutul istoric (arheomagnetismul) şi în trecutul geologic (paleomagnetismul). Aceste cercetări au permis lărgirea deosebită a cunoştinţelor noastre asupra cîmpului magnetic terestru (E. Thellier etc.).

D. METEOROLOGIA. AERONOMIA

Meteorologia, ca ştiinţă a prevederii timpului pentru cîteva zile (sau pentru cîteva săptămîni) este tot atît de veche ca şi omenirea. Pînă în secolul al XX-lea nu se putea vorbi de „o ştiinţă“, ci mai degrabă de o experienţă acumulată după nenumărate constatări elementare.

Ultimii 50 de ani au fost însă martorii multiplicării atît a necesităţilor, datorită excepţionalei dezvoltări a aviaţiei, cît şi a mijloacelor: observarea cu ajutorul rachetelor, sondajelor radioelectrice, acumularea şi difuzarea observaţiilor datorită dezvoltării radiotelegrafiei şi folosirii transmisiei cu teleinscriptori.

Se poate spune însă că meteorologia ca ştiinţă a atmosferei se găseşte încă într-o stare destul de incipientă. Fără îndoială că utilizarea sateliţilor meteorologici (din seria *Tiros*) şi generalizarea observaţiilor în regiunile polare de nord şi de sud vor permite în viitorul apropiat realizarea unor progrese substanţiale în cunoaşterea mişcărilor şi comportării generale a atmosferei înconjurătoare. Măsurătorile spectroscopice (în special cele nocturne) vor contribui în mare măsură la aceste progrese.

Legile privitoare la mişcările atmosferei (mişcări adiabatice, echilibrul hidrostatic, influenţa rotaţiei terestre, fenomene de turbulenţă, furtuni, legile circulaţiei generale, perturbaţii tropicale, maree atmosferice etc.) constituie obiectul unor studii foarte avansate. Fizica norilor, mecanismul producerii precipitaţiilor, a fulgerului, studiul climatelor terestre etc., au realizat de asemenea progrese importante în ultimii 50 de ani.

Capitolul previziunilor meteorologice este cel mai cunoscut marelui public şi ar fi prea mult să pretindem că această previziune se efectuează prin metode care ar putea fi calificate în întregime ca ştiinţifice. Dar şi în acest domeniu s-au realizat de asemenea progrese imense în ultimii ani, iar utilizarea calculatoarelor electronice moderne va permite obţinerea unor noi realizări chiar dacă nu există propriu-zis ecuaţii complete care să permită definirea cîmpului izobaric în altitudine.

E. OCEANOGRAFIA FIZICĂ

Oceanografia fizică are ca obiect în special studiul structurii fizico-chimice a mediului marin şi a dinamicii sale. Asociată geofizicii marine şi hidrografiei, consacrată descrierii geometrice a fundului oceanelor, ea joacă un rol fundamental faţă de celelalte ramuri ale oceanografiei (oceanografia biologică şi oceanografia geologică).

Cunoaşterea exactă a temperaturii şi salinităţii la diferite adîncimi a constituit mult timp singurul procedeu de determinare de ansamblu a circulaţiei marine, cu ajutorul ecuaţiilor hidrodinamicii.

În zilele noastre, se folosesc în mod curent aparate care permit măsurarea directă a curenţilor marini şi conduc la o determinare mai amănunţită a structurii curenţilor, precum şi la o mai bună înţelegere a regimului lor în vecinătatea coastelor şi în strîmtori.

Dinamica mărilor comportă şi studiul agitaţiei superficiale a hulei şi a valurilor şi acela al mareelor şi curenţilor de maree.

Toate aceste rezultate au cu atît mai mult un interes practic, cu cît pot conduce la o previziune mai exactă a fenomenelor. Mareele, care pot fi studiate cu ajutorul mecanicii cereşti şi a mecanicii fluidelor, se pretează la prevederi foarte exacte. Nu se poate obţine încă o precizie comparabilă în cazul agitaţiei mării sau al curenţilor generali, deoarece aceste fenomene depind în mod esenţial de schimbul de energie dintre ocean şi atmosferă, schimburi a căror constanţă nu are decît un caracter statistic.

Acustica submarină, care reprezintă studiul propagării sunetelor prin mediul marin, are o mare importanţă militară (în special, la detectarea submarinelor), ca şi studiul transparenţei apelor.

Dezvoltarea actuală a tehnicii şi, în special, a electronicii, a avut drept rezultat o reînnoire completă a aparaturii şi a metodelor de cercetare ale oceanografiei. S-au realizat în special batiscafe, aparate autonome de scufundare, care permit la doi pasageri să atingă fundul celor mai mari fose oceanice (11000 m) şi care sînt înzestrate cu aparate ce înregistrează diverse date fizice.[6]

---

[6] Vezi studiul lui A. Tétry (pp. 696—697).

Cea mai mare parte a ţărilor ce au o frontieră maritimă au organizat importante servicii de cercetări oceanografice (S.U.A., U.R.S.S., Marea Britanie, Japonia, Franţa, Ţările Scandinave etc.). Efortul de cooperare internaţională întreprins în diversele domenii ale cercetării oceanografice în cursul Anului Geofizic Internaţional se continuă datorită organizării a două mari expediţii internaţionale avînd ca scop prospectarea Oceanului Atlantic tropical (1963) şi a Oceanului Indian (1963—1965).

Dacă se consideră, în principiu, că o problemă nu poate fi denumită ştiinţifică decît în momentul în care poate fi „pusă în ecuaţie", meteorologia şi oceanografia nu pot fi considerate încă în întregime ştiinţe.

Dar dacă se acordă această denumire după rigurozitatea observaţiilor efectuate — bazate, în special, pe eliminarea erorilor sistematice de măsurare şi după grija de a exclude orice fantezie din concluziile ce se pot trage din aceste observaţii, atunci aceste ramuri ale geofizicii pot fi considerate ca ştiinţifice.

Ele pot fi considerate poate chiar printre cele mai atrăgătoare şi mai interesante dintre toate ştiinţele, deoarece se referă la studiul mediului în care trăim: oceanul, care a fost leagănul tuturor fiinţelor vii şi atmosfera care întreţine viaţa şi condiţionează existenţa noastră.

F. COOPERAREA INTERNAŢIONALĂ

Geodezia şi geofizica sînt ştiinţele pentru care cooperarea internaţională este esenţială şi are un caracter cu totul particular. În timp ce în alte domenii această cooperare se traduce în primul rînd prin contactele umane şi prin confruntarea rezultatelor în care nu intervine nici un element geografic, în geodezie şi în geofizică şi, într-o mai mică măsură, în astronomie, este vorba de măsurări efectuate în diferite regiuni ale globului care trebuie acumulate, coordonate, omogenizate şi apoi utilizate în sinteze generale.

De aceea, chiar primele asociaţii ştiinţifice internaţionale au fost cele de geodezie (creată în 1863 de generalul prusac Baeyer) şi de seismologie (prin 1903). De atunci, în toate domeniile ştiinţei s-au multiplicat asociaţii analoage. Dar în cadrul Consiliului Internaţional al Uniunilor Ştiinţifice, Uniunea Internaţională de Geodezie şi Geofizică (U.G.G.I.) ocupă un loc foarte important; ea este, dealtminteri, Uniunea la care a aderat cel mai mare număr de naţiuni din lume.

Asociaţia Internaţională de Geodezie a atras crearea, în 1885, a Comitetului Internaţional de Măsuri şi Greutăţi, căreia i se datorează unificarea actuală a unităţilor de măsură şi foarte mari progrese în toate ramurile fizicii. În aceeaşi perioadă ea a creat şi Serviciul Internaţional al Latitudinilor, însărcinat cu urmărirea permanentă a fluctuaţiilor axei de rotaţie terestră. În sfîrşit, în 1922, s-a înfiinţat, la Roma, Uniunea Internaţională Geodezică şi Geofizică care cuprinde şapte asociaţii internaţionale constitutive: Geodezia şi Gravimetria, Seismologia, Meteorologia şi Aeronomia, Magnetismul terestru, Oceanografia fizică, Vulcanologia şi Hidrologia ştiinţifică.

Printre rezultatele acestei cooperări internaţionale vom aminti Anul Geofizic Internaţional şi calculul de ansamblu al triangulaţiilor şi nivelmentelor europene. Această cooperare s-a manifestat foarte activ şi în cursul tuturor operaţiilor geofizice de orice natură realizate pe continentul antarctic. Exemplul a fost urmat şi în domeniul politic, iar „Tratatul Antarctic“ (1961), care recunoaşte în întregime neutralitatea acestui continent, poate fi considerat ca fiind înainte de toate opera oamenilor de ştiinţă. Ar fi de dorit ca acest exemplu să fie urmat şi în alte teritorii.

Alte acţiuni la nivel internaţional sînt în curs de realizare şi ele vor contribui în mare măsură la o mai profundă cunoaştere a Pămîntului nostru.

■

Notă: Dezvoltarea geodeziei şi geofizicii în ultimii 10—15 ani este caracterizată prin progrese remarcabile în obţinerea, tratamentul şi interpretarea datelor de observaţie ca şi prin amplificarea şi adîncirea cooperării internaţionale în cele două domenii. Performanţe excepţionale în metrologie — devenite posibile datorită diversificării măririi preciziei şi automatizării aparatelor şi metodelor de măsurare —, prelucrarea rezultatelor în cadrul conceptual al noilor teorii privind extragerea conţinutului informaţional din datele de observaţie şi cu posibilităţile puse la dispoziţie de calculatoarele electronice, precum şi utilizarea complexă a metodelor diverselor discipline geodezice şi geofizice au determinat un flux de informaţii fără precedent, ca amploare şi calitate, în evoluţia anterioară a celor două ştiinţe, conducînd la o tot mai bună cunoaştere a mărimilor şi fenomenelor ce definesc cantitativ structura şi dinamica planetei noastre.

Două trăsături definitorii se detaşează, în particular, cu claritate, din cadrul general în care se integrează activitatea recentă de cercetare geodezică şi geofizică, la scară internaţională: extinderea spaţială a investigaţiilor şi abordarea pluridisciplinară a studiului fenomenelor. Ele se recunosc în toate „proiectele“ internaţionale de cercetare integrată geodezică şi geofizică, începînd cu „Anul Geofizic Internaţional“ (1957—1958), continuînd cu „Anii Internaţionali ai Soarelui Calm“ (1964—1965) şi cu „Proiectul Mantalei Superioare“ (1960—1970), găsindu-se în prezent în stadiul reprezentat de „Proiectul de Geodinamică“, început în 1970 şi în plină desfăşurare la ora actuală.

După ce în primele două dintre aceste mari colaborări internaţionale accentul fusese pus pe geofizica externă, în particular pe studiul fenomenelor terestre puternic influenţate de Soare (într-o epocă de maxim de activitate solară — AGI, respectiv într-una din minim — AISC), cercetările geodezice şi geofizice s-au orientat ferm spre „Pămîntul solid“, în cadrul celorlalte două proiecte menţionate.

Organizate sub egida Consiliului Internaţional al Uniunilor Ştiinţifice şi coordonate de cele două mari uniuni internaţionale, avînd ca obiect cercetările privind structura şi fenomenologia Pămîntului (Uniunea Internaţională de Geodezie şi Geofizică şi Uniunea Internaţională a Ştiinţelor Geologice), Proiectul Mantalei Superioare a adus, iar Proiectul de Geodinamică este în curs de a completa, informaţii de valoare deosebită constituind fundamentarea cantitativă faptică a noilor concepţii în legătură cu deriva continentală, expansiunea fundului oceanelor şi tectonica plăcilor, considerate a reprezenta o adevărată revoluţie pentru toate geoştiinţele. De o semnificaţie largă pentru cunoaşterea şi înţelegerea fenomenologiei Terrei sub aspectele cele mai generale, dar şi cu tendinţa de a explica şi particularităţile, deci interesînd ansamblul ştiinţelor despre Pămînt, prin puterea lor de sintetizare a ceea ce este deja cunoscut şi de prevedere a ceea ce aşteaptă încă să fie descoperit, aceste concepţii au rezultat din determinările cantitative ale geodeziei şi geofizicii privind mişcările crustale recente, distribuţia spaţială a focarelor seismice, repartiţia geografică a anomaliilor magnetice şi gravimetrice, vîrstele absolute — determinate radiometric — ale formaţiunilor, fluxul geotermic etc.

Extinderea spaţială a cercetărilor a fost, într-o primă etapă, geografică. Rezultatele ei s-au dovedit importante pentru toate proiectele menţionate, atît printr-o mai bună echilibrare a gradului de cunoaştere geodezică şi geofizică a diverselor regiuni ale Pămîntului — prin determinări marine şi aeriene, alături de cele terestre, cît mai uniform distribuite peste tot Globul, inclusiv zonele greu accesibile — ca cele polare —, cît şi prin conturarea mai de aproape a substratului fenomenologic al unor particularităţi geofizice legate de unele dintre aceste regiuni (de exemplu, regiunile arctică şi antarctică, unde se găsesc nu numai polii de rotaţie, ci şi polii magnetici tereştri, responsabili de influenţarea multor fenomene geofizice). Spaţială — în sensul larg al cuvîntului — a devenit extinderea cercetărilor prin executarea de măsurători din rachete şi sateliţi, la distanţe tot mai mari de Pămînt şi cu obiective tot mai variate, în primul rînd fiind de menţionat determinările geodezice şi cele magnetice. S-a ajuns, de asemenea, la informaţii preţioase prin măsurători fizice în atmosfera superioară sau prin înregistrări seismologice pe Lună.

Abordarea şi investigarea pluridisciplinară — cu succese răsunătoare în problemele derivei continentale, expansiunii fundului oceanelor sau tectonicii plăcilor, amplu fundamentate geomagnetic, seismologic, radiometric, geotermic, gravimetric etc., — s-a generalizat atît de mult în cercetările geodeziei şi geofizicii încît la ultimele mari reuniuni de specialitate ţinute (cea de a XV-a Adunare Generală a Uniunii Internaţionale de Geodezie şi Geofizică — Moscova, 1971) şi (cea de a XVI-a Adunare Generală a aceleiaşi uniuni — Grenoble, 1975), comunicările ştiinţifice s-au făcut exclusiv în cadrul unor simpozioane inter-asociaţii, pe probleme şi nu pe metode de rezolvare a lor.

Schiţarea evoluţiei recente a geodeziei şi geofizicii poate fi încheiată cu menţionarea a două observaţii care, formulate în termeni diferiţi, duc la aceeaşi concluzie. Una, făcută la încheierea Proiectului Mantalei Superioare de către secretarul general al Comitetului acestui proiect, declară că de unde la începutul lucrărilor participanţii erau seismologi, geomagneticieni, gravimetrişti, în general geofizicieni, geologi etc., la terminarea lor ei deveniseră „geocercetători" („geoscientists"). A doua rezultă din subtitlul unei dări de seamă asupra Adunării Generale a Uniunii Internaţionale de Geodezie şi Geofizică de la Moscova şi constată că aceasta „a demonstrat o continuă eroare a frontierelor disciplinelor". Este, fără îndoială, o reacţie împotriva supraspecializării, dar şi o recunoaştere a avantajelor oferite cercetării de abordare pluridisciplinară a problemelor complexe pe care le au de rezolvat geodezia şi geofizica. — *L.C.*

CAPITOLUL II
Ştiinţele mineralogice

Am arătat (vol. III, 1 pp. 353—377) cum au apărut progresiv în timpul secolului al XIX-lea ştiinţele mineralogice, datorită excepţionalei dezvoltări a ştiinţelor fizice şi chimice, stimulate de necesităţile crescînde a unei industrii în plin avînt.

În secolul al XX-lea ştiinţele mineralogice vor face un adevărat salt datorită cunoştinţelor din ce în ce mai aprofundate asupra stării cristaline şi asupra structurii atomului. Ele vor profita de fapt şi de consecinţele descoperirilor radiaţiilor X, ale radioactivităţii şi ale dezvoltării termodinamicii şi energeticii.

A. CRISTALOGRAFIA GEOMETRICĂ

DIFRACŢIA RADIAŢIILOR X ÎN CRISTALE. Această descoperire fundamentală a permis pătrunderea în structura stării solide a materiei. Max von Laue (1879—1960) fusese numit în 1909 profesor la Universitatea din München. În 1912, pentru a răspunde unei probleme pusă de P. Ewald, el a fost tentat să stabilească o corelaţie între distanţa dintre planele reticulare pe care se află atomi şi lungimea de undă mică (de ordinul a 1 Å) atribuită ipotetic radiaţiilor X de către Sommerfeld. El a considerat că un cristal poate juca acelaşi rol faţă de radiaţiile X ca şi o reţea de difracţie faţă de lumină: adică de a provoca *interferenţe* şi de a furniza spectre de difracţie.

Doi asistenţi de laborator, Friedrich şi Knipping, au efectuat experienţe folosind o lamă de blendă (ZnS) pe care au plasat-o în calea unui fascicul de radiaţii X, încercînd să intercepteze apoi fasciculul reflectat de această lamă cristalină. După numeroase încercări fără succes, ei au reuşit să capteze pe o placă fotografică plasată în spatele cristalului radiaţiile deviate după un unghi mic. Pata produsă de radiaţiile centrale era înconjurată de pete dispuse regulat şi care reflectau în mod evident repartizarea regulată a materiei în reţeaua cristalină.

Teoria lui Laue şi verificarea sa experimentală au fost cunoscute în iulie 1912.

Fizicianul englez William H. Bragg, care considera că radiaţiile X au mai degrabă proprietăţile unor particule materiale decît ale unor unde electromagnetice, nu a putut interpreta figurile lui Laue în cadrul teoriei sale. Dimpotrivă, fiul său W. Lawrence Bragg, care considera radiaţiile X drept „pulsaţii" foarte scurte ale unei radiaţii electromagnetice, a explicat elipticitatea petelor de difracţie produse pe o placă plasată la o anumită distanţă de cristal, dovedind că aceste „pulsaţii" nu erau numai difractate în anumite direcţii, cum presupunea Laue, ci erau şi reflectate după anumite „unghiuri de incidenţă" de către stratele de atomi din cristal, ca şi cum aceste strate ar fi fost oglinzi.

Bazîndu-se pe ipoteza după care compuşii cubici simpli, de tipul blendei, corespund unei aranjări cubice compacte a unor atomi de formă sferică, el a explicat de ce unele dintre aceste „oglinzi atomice" reflectă radiaţiile X mai puternic decît altele.

Primele cristale analizate cu ajutorul radiaţiilor X au fost halogenurile alcaline, care au o structură mai simplă decît blenda. L. Bragg a încercat apoi experienţa reflexiei radiaţiilor X pe o suprafaţă de clivaj în mică, care este paralelă cu stratele de densitate atomică mare, iar diagrama obţinută i-a permis să stabilească structura acestui mineral.

Studiind fasciculul reflectat, din punct de vedere al ionizării şi al absorbţiei, W. Brag a arătat că undele difractate au toate proprietăţile radiaţiilor X. Spectrometrul său de radiaţii X i-a permis măsurarea intensităţii fasciculului reflectat în diverse direcţii. Pentru a suferi o difracţie suficient de mare, radiaţiile X trebuie să întîlnească o familie de plane reticulare (*pqr*) sub un unghi θ legat de lungimea de undă λ prin relaţia fundamentală $n\lambda = 2d_{pqr} \sin\,\theta$, în care d este echidistanţa planelor, θ este complementul unghiului de incidenţă, iar n un număr întreg.

W. Bragg a arătat (1913) că fiecare material folosit în tuburile pentru radiaţii X drept sursă de radiaţii furnizează un spectru de radiaţii X caracteristic de lungimi de undă definite.

Pe de altă parte, măsurînd unghiurile după care diversele feţe ale unui cristal reflectă radiaţiile X şi intensitatea cu care se face această reflectare, se poate determina modul de aranjare a atomilor în planele paralele acestor feţe. Această tehnică s-a dovedit deosebit de fecundă atît pentru fizica radiaţiilor X, cît şi pentru cristalografie. Astfel, o suprafaţă cristalină convenabil aleasă permite determinarea lungimilor de undă caracteristice ale radiaţiilor X ce provin de la diferite elemente ce funcţionează ca surse; un fascicul „pur" de radiaţii X monocromatice poate fi selecţionat prin reflectarea pe un cristal permiţînd măsurarea absorbţiei sale în diferite substanţe.

Acest domeniu a fost studiat în mod strălucit de W. Bragg, care a măsurat lungimile de undă ale spectrelor de radiaţii X furnizate de diferite metale, le-a indentificat cu radiaţiile K şi L ale lui C.G. Barkla (1912) şi le-a calculat cuantele de energie după legea lui Planck. El a arătat că lungimile de undă mai scurte (K_α şi K_β) pentru diferitele elemente sînt aproximativ invers proporţionale cu pătratul greutăţii atomice, stabilind astfel bazele spectroscopiei de radiaţii X care au fost apoi strălucit dezvoltate de H. Moseley (1913—14) şi de M. Siegbahn (1919).

L. Bragg a abordat în paralel și studiul sistematic al structurilor atomice ale cristalelor de halogenuri alcaline, de diamant, fluorină, cuprit, blendă, pirită, nitrat de sodiu, calcit.

Războiul din 1914 a întrerupt pentru o perioadă de timp cercetările lui W. și L. Bragg, dar în aceeași perioadă s-a realizat un mare progres datorită metodei pulberilor, dezvoltată de Debye și Scherrer la Zürich (1916) și de Hull în Statele Unite (1917).

În această metodă, radiațiile X cad pe o cantitate mică de pulbere cristalină, menținută compactă cu ajutorul unei substanțe amorfe pe o baghetă de sticlă. Din loc în loc, anumite particule au unul dintre planele lor orientat astfel încît relația lui Bragg: $n\lambda = 2\,d \sin\theta$ este satisfăcută, iar radiațiile X sînt reflectate după un unghi 2θ. Particulele astfel orientate difractă radiațiile după un con. Celelalte particule formează alte conuri, iar ansamblul acestor conuri înglobate formează o serie de cercuri concentrice care sînt interceptate de o placă fotografică dispusă într-o cameră cilindrică. Fiecare linie de pe diagrama astfel obținută corespunde unui tip particular de difracție și furnizează informații asupra naturii substanței. Fiecare tip de substanță cristalină furnizează un sistem de linii caracteristic.

Această metodă este universal folosită acum la identificarea speciilor minerale. Cataloagele constituite în acest scop sînt ținute la zi printr-un serviciu internațional.

După 1914 a fost acumulat un număr considerabil de informații asupra structurii atomice a substanțelor de toate tipurile, adesea foarte complicate, prin activitatea a numeroși savanți ca: W.H. și W.L. Bragg în Marea Britanie, C. Mauguin în Franța, Ewald și Schiebold în Germania, L. Pauling și Wyckoff în Statele Unite, A.F. Ioffe și Șubnikov în U.R.S.S., etc.

Cristalografia are de pe acum la dispoziția sa o metodă de analiză de eficacitate incomparabilă, care îi permite determinarea dimensiunilor elementului cristalin în valoare absolută, precum și dispunerea atomilor în motivul cristalin pe care-l conține. Ea se folosește în acest scop de teoria structurii a lui Schoenflies-Fedorov, care definește 230 de tipuri de distribuții ale elementelor de simetrie: grupuri de simetrie sau grupuri spațiale (vol. III, 1, p.). Dar această teorie trebuia adaptată noilor cerințe și impunea stabilită și o terminologie. Un nou sistem de simboluri internaționale, elaborat de C. Mauguin, a fost adoptat în 1930 (simbolismul Mauguin-Hermann) și apoi precizat în 1935.

Aceste cercetări asupra structurii consideră cristalul drept un mediu omogen desfășurat infinit, dar se știe că aceasta se prezintă foarte des sub forma unor poliedre.

Înaintea utilizării radiațiilor X, cristalografii nu puteau încerca să lămurească structura cristalelor decît pornind de la studiul amănunțit al formelor lor geometrice și al proprietăților fețelor lor.

Într-un tratat remarcabil *(Das Kristallreich)*, E. Fedorov a arătat cum pot fi identificate majoritatea substanțelor cristaline. Dar lucrarea sa avea poate defectul de a aborda simultan atît problemele structurii, cît și ale determinării acesteia. Studiind numai din ultimul punct de vedere problema, T. V. Barker (1930) a enunțat principiile unei sistematizări pe care apoi diverși autori au încercat să o perfecționeze.

Utilizarea radiaţiilor X nu a diminuat interesul studiilor morfologice care intervin în mod util în descrierea speciilor şi furnizează radiocristalografilor informaţii preţioase asupra clasei de simetrie.

RADIOCRISTALOGRAFIA. Această ştiinţă are ca obiect studiul structurilor cristaline cu ajutorul radiaţiilor X. Permiţînd determinarea dispunerii atomilor în „motivul cristalin", a cărui repetare formează cristalul, ea a deschis un domeniu de cercetări nebănuit şi a permis obţinerea de progrese remarcabile în cunoştinţele noastre asupra structurii materiei.

Studiul aprofundat al unei structuri cristaline reprezintă, totuşi, o sarcină complexă şi grea. În realitate, nu se măsoară decît intensitatea fasciculelor difuzate care sînt observate; din această valoare se poate deduce amplitudinea, dar nu şi faza fasciculului considerat. Nu se poate deci trece de la diagrama X la coordonatele atomilor fără a emite ipoteze asupra acestei structuri. „A analiza un cristal, spunea W.L. Bragg, este asemănător cu a rezolva cuvinte încrucişate dificile".

Determinarea structurilor cristaline a fost mult perfecţionată prin folosirea seriilor Fourier şi a „factorului de structură" care permit exprimarea relaţiei dintre distribuţia materiei în cristal şi difracţia radiaţiilor X pe care o produce, precum şi obţinerea valorilor densităţii electronice medii în fiecare punct al elementului cristalin. Aceste calcule deosebit de laborioase sînt uşurate acum de utilizarea maşinilor electronice de calcul (A. J. Rose, 1948) şi îngăduie obţinerea proiecţiei densităţilor electronice pe planele importante ale reţelei cristaline studiate.

Principiul aparatelor analogice care permit reprezentarea unei structuri este cu totul diferit. Pornind de la analogia dintre difracţia luminii de către reţele şi difracţia radiaţiilor X de către cristale, W. L. Bragg (1939, 1944) a realizat un dispozitiv, denumit „ochi de muscă" care permite prin metode optice prevederea aspectului diagramei X pe baza unei reprezentări plane a structurii. Mai trebuie amintit de asemenea şi fotosomatorul armonic al lui G. von Eller (1955).

În ciuda acestor progrese, determinarea unei structuri complexe rămîne o operaţie lungă şi delicată. Studiul anumitor probleme necesită ajutorul altor metode şi în special acela al spectrelor de difracţie a electronilor.

Efectele obţinute sînt teoretic analoage celor produse de radiaţiile X, dar electronii nu pot traversa decît grosimi de substanţă de ordinul 2 pînă la $5 . 10^{-4}$ mm.

Această metodă care nu necesită decît cantităţi extrem de mici de substanţă şi durată de expunere redusă este aplicabilă la rezolvarea unor probleme ca structura moleculelor gazoase şi la studiul păturilor superficiale (Davisson şi Germer, G. P. Thomson, 1930; S. Kikuchi, 1933; J. J. Trillat, 1932; G. Aminoff şi B. Broomé, 1933—34).

Dealtminteri, microscopul electronic permite separarea a două puncte distanţate de la 20 la 30 Å şi obţinerea unor măriri superioare lui 80 000 (G. Dupouy, 1961).

Asocierea metodelor microscopului electronic şi difracţiei electronilor permite obţinerea unor amănunte morfologice ale cristalelor, invizibile la măririle maxime permise de microscopul electronic şi determinarea naturii structurii lor. Difracţia neutronilor care permite „vederea" atomilor uşori şi lămurirea structurilor magnetice este, de asemenea, foarte des folosită în radiocristalografie. Numeroase structuri ale cristalelor naturale sau artificiale au fost determinate şi în fiecare an apar altele noi.

STRUCTURILE CORPURILOR „AMORFE" STICLOASE ŞI LICHIDE. Acestea nu mai posedă periodicitatea la mare distanţă ca în cazul cristalelor, dar păstrează încă o anumită ordine de scurtă distanţă a elementelor care le formează. Ca şi pentru solidele numite „amorfe", diagramele X ale lichidelor în asociaţie moleculară şi chiar ale lichidelor reale — formate din atomi sferici (sodiu topit) sau din molecule sferice (clorura de carbon) — pun în evidenţă inele flue (voalate) care adovedesc existenţa unei ordini de mică distanţă. Sticlele care sînt lichide cu asociaţie moleculară „închegată" (subrăcite) furnizează diagrame analoage. După 1916, Debye şi Scherrer au abordat studiul structurii dezordonate a lichidelor cu ajutorul radiaţiilor X. Bernard şi Fowler (1933) au studiat timp îndelungat cazul particular al apei, început din 1931 de Stewart.

Diagramele obţinute conduc la o imagine a apei ca un lichid pseudo-cristalin format din mici domenii, în interiorul cărora moleculele sînt dispuse în grupări tetraedrice mai mult sau mai puţin regulate (R. C. Evans, 1954) şi se pare că această structură a apei joacă un rol considerabil în arhitectura numeroaselor molecule minerale şi organice.

STĂRILE MEZOMORFE. G. Friedel (1922) a reprezentat prin această denumire o stare a materiei, intermediară între starea cristalină şi amorfă, în care se grupează anumite substanţe organice denumite anterior „cristale lichide" (O. Lehmann, 1889).

El deosebeşte: 1) Substanţele nematice, de obicei lichide, spontan anizotrope, care nu au proprietăţile vectoriale discontinue; 2) Substanţele smectice, în care aceste proprietăţi apar numai pentru o direcţie a unui plan unic şi care sînt, de asemenea, spontan anizotrope.

Aceste substanţe aparţin seriei alifatice (acizi graşi şi săpunuri alcaline, derivate ale acidului oleic) şi seriei ciclice. Derivaţii colesterinei se includ în rîndul substanţelor nematice. Actualmente sînt cunoscute aproape 3 000 de substanţe mezomorfe. Fiecare dintre ele conţine o mulţime de structuri variate: lame birefringente omogene, lame elicoidale, lame în trepte, structuri filiforme, conice focale etc.

Aceste substanţe au fost studiate de Gattermann (1890) şi de Vorländer (1908) şi elevii săi (Schenck, G. Friedel, F. Grandjean, C. Mauguin, P. Châtelain). Vom mai cita şi lucrările lui F. Wallerant şi P. Gaubert, ale şcolii lui Ornstein din Olanda şi cele ale şcolii lui Freedericksz în U.R.S.S. În anul 1931, revista *Zeitschrift für Kristallographie* a consacrat mai mult de o jumătate de volum abundentei literaturi asupra acestui subiect, care de atunci s-a îmbogăţit considerabil. Amintim doar că structura substanţelor mezomorfe a fost studiată cu ajutorul radiaţiilor X de către M. de Broglie şi G. Friedel (1923—25), de K. Herrmann (1935) şi J. Falgueirettes (1959) etc. Tipurile de asociaţii moleculare care caracterizează fazele mezomorfe joacă un rol important în numeroase procese biologice.

STRUCTURI CRISTALINE COMPLEXE. O teorie generală a maclelor a fost formulată în anul 1904 de G. Friedel. De atunci, numeroşi mineralogi, ca J. Drugman, P. Gaubert, A. Şubnikov, au studiat aceste structuri.

Structurile mimetice sînt formate din macle multiple, foarte fine de cristale de acelaşi tip, dispuse astfel încît simetria de ansamblu este superioară celei a componenţilor elementari. Studiul lor, început în secolul al XIX-lea de către Brauns şi Mallard, a fost reluat de R. Hocart (1934) prin utilizarea combinată a metodelor optice şi a radiaţiilor X.

L. Royer (1928) a dat denumirea de epitaxie fenomenului de orientare a unor cristale de diferite specii. Numeroase cazuri de acest tip au fost semnalate în secolul al XIX-lea, iar F. Wallerant a furnizat o trecere în revistă completă a lor în 1909. P. Gaubert (1924) şi J. W. Grüner (1929) au studiat şi unele aspecte ale acestui fenomen. L. Royer a arătat că aceste cristale se unesc totdeauna în plane reticulare, ale căror elemente au aproape aceleaşi dimensiuni ţinînd seama de anumite condiţii: în 1954 el a prezentat o expunere de ansamblu asupra acestei probleme.

G. Deicha (1946) a subliniat importanţa suprasaturării soluţiei în realizarea epitaxiei şi a introdus noţiunea de „dezechilibru cristalogen“. Cercetările recente permit legarea formării maclelor şi a grupărilor epitaxice de teoria creşterii cristalelor.

CRISTALE MIXTE; SOLUŢII SOLIDE. G. Friedel (1926) a propus luarea în considerare a sincristalizării, al cărui studiu a fost inaugurat în secolul al XIX-lea de Mitscherlich ca o nouă manifestare a fenomenului maclelor şi orientărilor reciproce ale diferitelor specii. El a făcut precizări în legătură cu ideea exprimată de G. Schermak (1884), după care „amestecurile izomorfe se explică în întregime dacă sînt considerate ca grupări paralele intime“.

Diagramele de radiaţii X au arătat că pentru a descoperi o structură periodică în aceste cristale este necesar ca speciile constituante să aibă un element cristalin multiplu simplu comun cu o aproximaţie de ordinul 6—11% şi ca distribuţia acestor elemente să fie regulată.

Dacă această distribuţie este doar statistică, cristalul este sediul unor tensiuni care impun reţelei distorsiuni neregulate sau dau naştere unei reţele intermediare între cele ale constituenţilor. Studiul structurii aliajelor (W. L. Bragg, 1933; W. Hume — Rothery, 1931—35) a furnizat rezultate de mare interes asupra acestor înlocuiri de atomi şi a condus în special la noţiunea de suprastructură, care reprezintă schimbarea periodicităţii primitive a unuia dintre constituenţi. Uneori, totuşi, această structură nu se realizează decît local, în numeroase insuliţe, împrăştiate, care nu sînt puse în evidenţă de radiaţiile X (aliaje de Fe şi Al etc.).

Operaţiile de călire şi de recoacere au o mare influenţă asupra acestei modificări de structură, ceea ce explică proprietăţile fizice speciale pe care le conferă aliajelor.

B. CRISTALOGRAFIA FIZICĂ

Marea varietate de forme cristaline observate la minerale arată influenţa condiţiilor exterioare cristalizării asupra producerii feţelor. Studiul acestor condiţii prezintă o mare importanţă din punct de vedere cristalografic şi mineralogic, de asemenea şi din punct de vedere industrial, pentru ghidarea cristalizării spre producerea, fie a unui precipitat dispers, fie a unor cristale perfecte mari: germaniu (tranzistori), cristale piezoelectrice şi feroelectrice, cristale pentru optica infraroşie şi ultravioletă etc.

CREŞTEREA ŞI DESCREŞTEREA CRISTALELOR. Primele studii sistematice asupra cristalizării datează din secolul al XIX-lea şi se datoresc lui N. Leblanc (1802) şi F.S. Beudant (1818), precum şi lui L. Pasteur, care a obţinut rezultate importante în creşterea cristalelor, în cicatrizarea cristalelor mutilate şi în obţinerea de variaţii ale formelor lor secundare.

Dar o etapă fundamentală este marcată de lucrările lui G. Tammann şi elevii săi (*Kristalliseren und Schmelzen*, 1903; *Die Aggregäts Zustande*, 1922). Două particularităţi experimentale importante au fost puse în evidenţă în aceste lucrări: puterea germinativă, care defineşte condiţiile de apariţie a germenilor cristalini, şi viteza de creştere a acestor germeni.

Germenii nu se formează decît din momentul în care se ajunge la un anumit grad de suprasaturare sau de suprafuziune. După Ostwald ar exista o zonă metastabilă în care cristalizarea nu începe decît după un timp mai mult sau mai puţin lung. Impurităţile prezentate în mediu influenţează mult asupra apariţiei germenilor. O soluţie suprasaturată poate fi astfel stabilizată. Problema teoretică a „germenului critic“ a fost studiată de J. W. Gibbs (1928) şi apoi de M. Volmer (1939), A. Weber (1926), R. Becker şi W. Döring (1935).

P. Curie (1885) consideră creşterea cristalelor ca un fenomen capilar: o masă cristalină tinde, ca şi un lichid, să ia o formă corespunzătoare energiei superficiale minime. Pentru corpuri anizotrope această energie trebuie să prezinte minime accentuate după anumite plane; un cristal trebuie deci să tindă a se limita prin feţe plane.

Dezvoltînd această idee, G. Wulff (1901) a formulat prima teorie a creşterii cristalelor. Un cristal introdus într-o soluţie de concentraţie dată are în fiecare direcţie o viteză de creştere proprie, proporţională cu constanta capilară a feţei perpendiculară la această direcţie. Dar G. Friedel a arătat că faptul pentru care aceste viteze au toate acelaşi semn este incompatibil cu ipoteza lui Curie, după care cristalul în soluţie saturată ar tinde spre o formă de echilibru.

Ţinînd seama de curenţii de convecţie şi de viteza de difuzie a sării în soluţie, Friedel (1926) a putut explica particularităţile morfologice ale cristalului şi chiar formarea, în anumite cazuri, a unor goluri limitate de feţe plane (cristale negative).

Prin metode interferometrice, C. W. Bunn (1949), W. F. Berg (1938), Humphreys — Owen (1949), S. Goldsztaub şi R. Kern (1953) au măsurat viteza de creştere şi concentraţia la suprafaţa unui cristal în curs de creştere, obţinîndu-se neconcordanţe între rezultatele obţinute.

Majoritatea teoriilor privitoare la mecanismul creşterii admit faptul că moleculele provenite din faza suprasaturată (soluţie sau vapori) se înglobează în solid chiar în locul în care îl ciocnesc. L. Kowarski (1935) a stabilit că, cel puţin în cazul formării prin sublimare, această ipoteză nu este compatibilă cu creşterea omotetică şi cu conservarea formelor curbe. În schimb aceste fenomene pot fi interpretate admiţînd, ca M. Volmer (1926), că moleculele condensate sînt cîtva timp mobile la suprafaţa cristalului sub forma unei pelicule continue pornită de la germeni de două dimensiuni a căror formare este subordonată unor considerente de energie superficială şi de energie de contur. W. Kossel şi I. Stranski (1927—30) au elaborat o teorie apropiată, bazată pe noţiuni energetice mai directe. Aceste cercetări conduc la scheme care amintesc noţiunea de pătură de „molecule integrante" a lui Haüy îmbogăţind-o prin datele moderne ale cristalografiei structurale.

După legea lui Bravais, viteza normală de creştere a feţelor ar fi o funcţie descrescătoare de densitatea reticulară, iar feţele cele mai puţin dense ar dispărea pe măsură ce creşterea progresează. Dar P. Niggli (1919), L. D. H. Donnay şi D. Harker (1937) au arătat că nu trebuiau deduse densităţile reticulare numai din reţetele lui Bravais şi că era necesară şi luarea în considerare a grupurilor de acoperire.

P. Hartman (1953) şi W. G. Perdok (1952) au încercat să obţină un acord mai bun între formele prezise şi cele observate prin introducerea noţiunilor de energie de suprafaţă şi de legătură ale cristalului; M. J. Buerger (1947) a arătat că în primă aproximaţie, energia de suprafaţă este invers proporţională cu densitatea reticulară. Valoarea relativă a vitezelor de creştere pentru diferitele feţe a fost studiată de Arteniev (1910), K. Spangenberg şi W. Kossel.

Dizolvarea în forme concave (sau descreşterea) a cristalelor a condus la cercetări importante ale lui G. Friedel, K. Spangenberg şi A. Neuhaus. H. Himmel şi W. Kleber (1934) au confirmat strînsa legătură ce există între creşterea formelor convexe şi producerea formelor concave prin dizolvare. H. E. Buckley şi G. Deicha etc. au studiat lacunele (golurile) de cristalizare microscopice (cristale negative) în cristale şi legăturile lor cu modul de creştere al acestora. L. Royer (1930) a arătat că într-un lichid izotrop activ, pot apărea figuri de coroziune asimetrice fără nici o legătură cu simetria cristalului: singurele elemente de simetrie care aparţin formei exterioare sînt deci elementele comune cristalului şi mediului (G. Friedel şi R. Weil, 1930). Figurile de deshidratare ale cristalelor au fost studiate de G. Gaudefroy (1919).

MODIFICAREA FACIESULUI. P. Gaubert, A. Johnsen (1900), A. Şubnikov (1914) au atras atenţia asupra influenţei suprasaturării şi a prezenţei impurităţilor în schimbările faciesului unui cristal.

A. F. Wells (1946) a studiat influenţa solventului, P. Gaubert (1895—1925) şi apoi H. E. Buckley şi L. Royer au studiat influenţa corpurilor străine ce intră în mod regulat în cristalul în curs de formare.

Un nou tip de structură, observat de A. Michel-Lévy (1893) în calcedonit şi anume înrulările elicoidale, a fost regăsit la numeroase substanţe organice. F. Wallerant a arătat influenţa determinantă a substanţelor înzestrate cu putere rotatoare asupra formării lor.

Efectele suprasaturării soluţiilor-mamă asupra formării maclelor de creştere au fost studiate de M. J. Buerger (1945) şi de G. Deicha (1943—49). R. Kern (1953—61) a adus precizări preţioase din punct de vedere geometric şi energetic; noţiunea sa de „condiţie de depăşire a echilibrului" este apropiată de aceea, mai generală, a gradului de „dezechilibru cristalogenetic" al lui Deicha (1946).

DEFECTE CRISTALINE. La începutul secolului al XX-lea, studiul proprietăţilor fizice ale cristalelor se baza pe ipoteza unui mediu cristalin perfect, adică riguros periodic. Dar cînd teoria structurii şi analiza cu radiaţii X au permis calculul diverselor proprietăţi ale cristalului: mecanice, termice, electrice şi magnetice, au apărut dezacorduri profunde. Astfel, rezistenţa sării de bucătărie la sfărîmare este de 200 de ori mai mică decît rezistenţa calculată după structura ei (A. Ioffe, 1934). A apărut, deci, necesitatea de a lua în considerare un „cristal real" diferit de „cristalul ideal".

Completînd ipoteza lui A. A. Griffith şi W. H. Bragg (1935) asupra existenţei în structura cristalină a unor fisuri neobservabile prin metodele de cercetare din acea epocă, A. Smekal (1934) a sugerat ideea unei structuri „în mozaic", de mici blocuri (de dimensiuni de ordinul a 100 Å) mărginite de minuscule lacune, asupra originii cărora au fost emise diferite ipoteze de către F. Zwicky (1929), E. Orowan (1934) şi M. J. Buerger (1934). De asemenea, Ch. G. Darwin a explicat efectul extincţiei observat în reflectarea radiaţiilor X la suprafaţa cristalelor aparent perfecte, prin existenţa unei multitudini de mici suprafeţe, prezentînd între ele diferenţe mici de orientare.

Studiul imperfecţiunilor cristaline a devenit un capitol important al cristalografiei şi al fizicii corpului solid, deoarece aceste imperfecţiuni (electroni liberi şi escavaţii, excitoni, poziţii reticulare vacante, atomi interstiţiali, atomi străini incluşi sau înlocuiţi în reţea, dislocaţii) condiţionează un mare număr de proprietăţi.

Studiile asupra dislocaţiilor, foarte numeroase în ultimele decenii, au lămurit noţiunea de „structură în mozaic" şi au furnizat informaţii importante asupra proprietăţilor clasice ale metalelor şi asupra creşterii cristaline.

Teoria creşterii elicoidale (F. C. Frank, 1949) a marcat un progres fundamental, permiţînd demonstrarea realităţii dislocaţiilor, verificarea proprietăţilor esenţiale şi înţelegerea mai bună a mecanismului creşterii cristaline. W. Shockley şi W. T. Read (1950—1953), F. Seitz (1952), N. Cabrera (1953), W. Dekeyser şi S. Amelincks (1955), G. Nomarski şi A. R. Weill (1954—1959) au îmbogăţit acest domeniu important cu noi observaţii.

STAREA METAMICTICĂ. Sub această denumire se înţelege starea de dezordine structurală produsă în reţeaua cristalină a unui mineral care cuprinde elemente radioactive prin dezintegrarea acestor elemente în timpul perioadelor geologice.

Brögger (1893) a desemnat cu numele de metamictice substanţele cu forme cristaline care au căpătat proprietăţile unor substanţe amorfe. Des Cloiseaux şi Damour, apoi O. Mügge au constatat că aceste minerale deveneau birefringente sub acţiunea căldurii.

În urma observaţiilor efectuate asupra relaţiilor dintre radioactivitate şi aureolele pleocroice (E. Rutherford, 1908), A. Hamberg (1914) a sugerat că procesul de metamictizare se poate datora radiaţiilor elementelor radioactive conţinute în aceste minerale. V. M. Goldschmidt (1924), apoi F. Machatschki (1941) au stabilit influenţa naturii forţelor de legătură care trebuie să fie slab ionice. F. Seitz (1949) a elaborat teoria fenomenului bazîndu-se pe acţiunea radiaţiilor corpusculare emise de acceleratoare sau de reactoarele nucleare asupra structurii corpurilor solide. P. Pellas (1954) a folosit această teorie pentru a studia formarea stării metamictice într-un anumit număr de minerale.

L. Vegard (1916), H. Pied şi J. Orcel (1926) au observat absenţa unui spectru de difracţie X în diverse minerale metamictice.

Paralel cu aceste cercetări, diferiţii autori au studiat fenomenul de recristalizare sub acţiunea căldurii, folosind cel mai adesea analiza termică diferenţială. Aceste cercetări sînt continuate activ după 1952, în special în Franţa de J. Orcel şi de D. Fauquier.

Studiul mineralelor metamictice poate furniza date importante asupra vîrstei rocilor care le conţin (H. D. Holland şi L. J. Kulp, 1950; L. H. Volchok; P. Pellas). În plus, observaţiile efectuate asupra cristalelor naturale metamictice, comparate cu cele furnizate de studiul metamictizării artificiale (H. Brooks, 1956) au adus fizicienilor şi inginerilor atomişti indicaţii utile asupra degradărilor suferite sub acţiunea radiaţiilor de mare energie de anumite materiale folosite în construcţia reactorilor nucleari şi au permis determinarea condiţiilor „vindecării" lor.

PROPRIETĂŢILE OPTICE ALE MINERALELOR. Dacă realizările principale privind optica cristalelor au avut loc în special în cursul secolului al XIX-lea, progresele realizate de atunci pot fi considerate ca remarcabile. Perfecţionările importante realizate în metodele experimentale, în construirea stativelor microscoapelor şi a unor obiective de mare putere, ca şi îmbunătăţirea şi utilizarea mai bună a datelor teoretice au permis determinarea cu o foarte mare precizie a caracterelor optice ale cristalelor.

Proprietăţile cristalelor transparente au constituit obiectul unor numeroase cercetări, în timp ce au fost efectuate nenumărate măsurări de constante optice. P. Sève (1920) şi C. Gaudefroy (1924) au reluat studiul dispersiei birefringenţei în cristale. Gaudefroy a clasificat diferitele tipuri de scări cromatice şi a arătat cum pot fi folosite la studiul mineralelor şi la constituirea unor lame sfert de undă sau semi-undă, aproape acromatice.

L. Longchambon (1922) a arătat că toate cristalele care prezintă hemiedrie enantiomorfă sînt înzestrate cu putere rotatorie, indiferent dacă substanţa este activă sau nu în soluţie. El a stabilit o metodă pentru măsurarea precisă a acestei puteri rotatorii în cristalele biaxe. P. Gaubert (1917) a studiat puterea rotatorie, uneori foarte mare, a lichidelor anizotrope.

Măsurarea indicilor de refracţie prin metoda imersiei în lichide cunoscute a fost perfecţionată. Metoda teodolitului folosită de E. V. Fedorov (1889), care permite situarea cu precizie a elipsoidului indicilor în raport cu elementele de simetrie ale cristalului studiat, a fost perfecţionată. Studiul cristalelor opace, născut odată cu metalografia microscopică, s-a dezvoltat pe baza lucrărilor lui J. Königsberger (1900—1910), F. E. Wright, H. Schneiderhöhn, K. Schlossmacher (1924).

Importanţa măsurării puterii de reflexie a cristalelor opace în lumină reflectată polarizată rectiliniu devine evidentă. Încă din 1923 au fost propuse în acest scop diverse dispozitive. În 1927, J. Orcel a realizat primul fotometru cu celulă fotoelectrică adaptat la microscopul metalografic polarizant, care permitea măsurarea unor mici plaje cristaline; în continuare, el a abordat studiul variaţiilor puterii de reflexie cu lungimea de undă, definind principalii factori numerici ce interveneau. L. Capdecomme a adus importante perfecţionări în acest domeniu (1936—41). Numeroase măsurări ale puterii de reflexie au fost efectuate fie cu fotometrul ocular al lui L. Berek (1931), fie cu fotomultiplicatori de electroni (A. Siat, 1951; J. Prouvost, 1961), fie cu un nou tip de fotometru vizual (A. F. Hallimond, 1953—57).

LUMINESCENŢA. Sub influenţa unor energii exterioare de diverse naturi, cristalele sînt sediul unor remarcabile fenomene al căror studiu poate lămuri structura lor, aducînd contribuţii interesante la fizica corpului solid.

Luminescenţa corpurilor solide a constituit în secolul al XIX-lea obiectul cercetărilor lui E. Becquerel, care a arătat că această proprietate a corpurilor solide fosforescente se datora prezenţei substanţelor străine fin dispersate în reţeaua cristalină. De la începutul secolului al XX-lea numeroşi cercetători au studiat luminescenţa corpurilor solide sub acţiunea radiaţiilor ultraviolete, a radiaţiilor catodice, a radiaţiilor X şi a radiaţiilor α, β, şi γ.

În timp ce J. Becquerel studia emisia fosforescenţei luminoase la temperaturi foarte scăzute a sărurilor de uranil, a rubinelor şi smaraldului, G. Urbain (1909), J. Yoshimura (1934) au observat spectrele de luminescenţă catodică ale fluorinei naturale şi au arătat că rolul luminogen este jucat la aceste substanţe de pămînturile rare (europiu, samariu etc.).

Studiul cristalelor termoluminescente a fost efectuat de E. Iwase (1934), F. Martin (1930) şi H. Steinmetz (1936). Cercetările asupra fotoconductibilităţii în semiconductoarele electronice au scos în evidenţă importanţa nivelelor de eterogenitate (defecte) care există în nivelele regulate ale cristalelor (A. F. Ioffe, 1935). Dar fosforescenţa se observă în cristale care sînt semiconductoare electronice. Revenirea electronului de fosforescenţă, fixat momentan pe nivelele energetice ale reţelei, provoacă emisia luminii, iar nivelele de stabilire momentană a electronilor de fosforescenţă ar constitui nivele de eterogenitate create în reţea în vecinătatea impurităţii (Maurice Curie, 1934—35).

Triboluminescenţa, caracterizată prin producerea luminii la sfărîmarea cristalelor şi considerată mult timp misterioasă, a fost, în sfîrşit, explicată de H. Longchambon (1925): aceste licăriri reprezintă o manifestare a luminescenţei azotului din aer, datorită descărcărilor electrice provocate de sfărîmarea cristalelor, în special în cazul în care acestea sînt piroelectrice sau piezoelectrice.

CULOAREA MINERALELOR. Culoarea mineralelor nu a fost studiată în secolul al XIX-lea decît din punct de vedere al absorbţiei luminii şi al policroismului. Progresele realizate în cunoaşterea structurii cristalelor au permis stabilirea legăturilor acestui fenomen fizic cu proprietăţile cristalochimice ale substanţelor care constituie sediul fenomenului respectiv. A.E. Fersman (1937) a stabilit o interesantă clasificare a culorilor după originea lor.

Această clasificare deosebeşte:

1) Cazurile de *idiocromatism*, în care culoarea mineralului depinde de compoziţia sa chimică şi de tipurile de legături dintre atomii reţelei sale cristaline.

2) Cazurile de *alocromatism*, în care culoarea se datoreşte, fie înlocuirii anumitor atomi sau ioni din reţea prin alţi atomi sau ioni de dimensiuni apropiate, fie prezenţei unor incluziuni mai mult sau mai puţin subţiri, răspîndite în reţeaua cristalină.

3) În sfîrşit, în cazul pseudocromatismului, culoarea se datoreşte dispersiei luminii şi unor fenomene de interferenţă sau de difracţie provocată de particularităţi ale structurii cristaline.

Culoarea variază puţin în funcţie de temperatura de cristalizare şi de prezenţa substanţelor străine în mediul generator. Ea se poate schimba şi sub acţiunea fenomenelor electrice intense (radiaţii catodice, radiaţiile radiului, radiaţiile ultraviolete) care acţionează asupra ionilor, atomilor şi cîmpurile care le înconjură, creînd noi benzi de absorbţie optică. Aceste culori de iradiere ale mineralelor au constituit obiectul multor lucrări experimentale (V. Pzribram 1927—53; etc.).

Încercînd să lege culoarea mineralelor de natura elementelor lor, Fersman a remarcat că numai anumiţi ioni joacă rolul de adevăraţi „cromofori": Ti, V, Mn, Cr, Fe, Co, Ni, şi într-o mai mică măsură W, Mo, U, pămînturile rare şi Pt, Co, Mo, în sărurile complexe ale acestor elemente. Dar această afirmaţie nu constituie decît o primă aproximaţie.

EFECTUL FOTOELECTRIC ŞI SEMICONDUCTOARELE. Sub acţiunea luminii un cristal de cuprit (Cu_2O) este sediul unei forţe electromotoare. A şi A.F. Ioffe (1933) au furnizat o explicaţie a acestui fenomen în timp ce alte minerale semiconductoare au fost studiate de G. Athanasiu (1934). Dealtminteri, au fost obţinute progrese considerabile şi în realizarea de semiconductoare artificiale[1].

ALTE PROPRIETĂŢI FIZICE. G. Greenwood (1932—35) a realizat un aparat foarte sensibil pentru a detecta piezoelectricitatea: o altă metodă de detectare a piezoelectricităţii se datoreşte lui P.J. Martin (1930).

Studiul radiaţiei difuzate prin efect Raman în cristale, permite, în anumite cazuri, determinarea orientării moleculelor sau ionilor, localizarea legăturilor, poziţia atomilor de hidrogen, rotaţia moleculelor în structurile cristaline şi detectarea deformărilor ionice pe care radiaţiile X nu le pot pune în evidenţă.

J. Cabannes (1932), J. P. Mathieu şi L. Couture-Mathieu (1947—54) au adus importante contribuţii în acest domeniu. De asemenea, interacţiunea radiaţiilor infraroşii cu mediul cristalin aduce informaţii foarte folositoare asupra structurii, furnizînd elemente pentru indentificarea speciilor minerale (J. Lecomte, 1958; S. Caillère şi Th. Pobéguin, 1960—61).

Amintim că condiţiile pentru ca cristalele să fie feromagnetice au fost determinate, în timp ce tipuri noi de fenomene magnetice, ca antiferomagnetismul şi ferimagnetismul au fost puse în evidenţă.[2]

Difuziunea radiaţiilor X prin unde elastice ale mediului cristalin permit studiul agitaţiei termice a atomilor ce îl constituie (M. Born şi Th. von Karman, 1912—13; J. Laval 1939—54; H. Curien, 1952) şi furnizează informaţii esenţiale pentru cunoaşterea intimă a cîmpului cristalin de care depind numeroase proprietăţi ale corpurilor solide.

Pentru metale şi aliaje se poate calcula energia absorbită sau degajată prin introducerea de atomi străini şi se pot prevedea variaţiile conductibilităţii electrice şi ale puterii termoelectrice şi chiar variaţiile energetice de legătură în funcţie de compoziţia aliajului.

DURITATEA. O evaluare directă a legăturii cristaline prin studiul durităţii este folositoare pentru determinarea speciilor minerale. Din nefericire, definiţia durităţii este destul de vagă, iar diferitele metode folosite pentru a o măsura determină în realitate o combinaţie mai mult sau mai puţin complexă a mai multor proprietăţi: elasticitatea, maleabilitatea, tenacitatea, viscozitatea etc.

---

[1] Vezi şi articolul lui P. Marzin şi J. Le Mézec (pp. 302—305).

[2] Vezi studiul lui E. Bauer şi A. Herpin (pp. 248—250).

Metodele lui Brinell (1900) şi apoi ale lui Vickers, folosite de metalurgi se bazează în special pe rezistenţa la pătrundere. Metoda lui Vickers a fost aplicată la studiul microscopic al secţiunilor şlefuite după anul 1936. S. B. Talmage (1926) a perfecţionat vechea metodă a sclerometrului; P. Le Rolland (1926) a elaborat o metodă de măsurare bazată pe influenţa durităţii suportului unui cuţit de pendul asupra duratei unor oscilaţii de mică amplitudine.

C. CRISTALOCHIMIA

Una dintre preocupările dominante ale cristalografilor din secolul al XIX-lea a fost studiul legăturii dintre natura moleculei chimice a mineralelor şi structura geometrică a reţelei lor cristaline. Noţiunea de izomorfism şi studiul cristalelor mixte au condus la o mai bună înţelegere a compoziţiei chimice complexe a unui mare număr de minerale permiţînd admiterea ideii substituţiilor izomorfe ale elementelor chimice. M.A. Gaudin a imaginat chiar (1873) diverse moduri de dispunere a atomilor în molecule şi a moleculelor în structura cristalină, ţinînd seama de legea de simetrie care guvernează toate aceste grupări. G. Delafosse a perfecţionat această concepţie adaptînd-o la teoria sa reticulară (vezi vol. III, 1, p. 359). Lothar Meyer a arătat periodicitatea variaţiei volumelor atomice cu creşterea greutăţii atomice a elementelor. Numeroase observaţii asupra proprietăţilor fizice ale substanţelor, strîns legate între ele, au fost acumulate de P. Groth (*Chemische Krystallographie*, 1906—1919).

Barlow şi Pope (1906) au avut ideea de a considera un cristal ca o entitate geometrică formată din acumularea unor atomi sferici, fiecare avînd o dimensiune caracteristică determinată de echilibrul dintre forţele ce se exercită între atomii vecini. Studiul structurii cristalelor prin difracţia radiaţiilor X era în acord cu această concepţie care a stat la originea primelor lucrări ale lui A.W. Hull şi a rezultatelor lui W.L. Bragg, în special pentru halogenurile alcaline (1920).

RAZE ATOMICE; RAZE IONICE. Observînd structurile cristaline ale elementelor sau ale cristalelor în care doi atomi de acelaşi tip sînt în contact (Landé, 1920), s-au putut deduce din aproape în aproape valorile razelor atomice sau ionice ale acestor elemente şi, prin urmare, şi acelea ale razelor altor elemente cu care acestea se pot combina. Totuşi, W.L. Bragg şi apoi R. Wyckoff au arătat că razele atomice ale aceluiaşi element pot varia în diferitele combinaţii. V.M. Goldschmidt (1923—31) a început coordonarea tuturor datelor experimentale referitoare la această problemă.

Razele atomice şi ionice ale cristalelor sînt de fapt razele aparente sau efective ale sferelor de influenţă ale atomilor şi ionilor din spaţiul ocupat în cristalul considerat. Aceste raze se calculează după distanţele interatomice măsurate prin determinarea structurii cristaline cu ajutorul difracţiei radiaţiilor X. În cazul razelor ionice, aceste calcule succesive presupun cunoaşterea razei ionice pentru unul dintre elementele considerate.

Calculele lui Goldschmidt se bazează pe razele ionice ale fluorului și oxigenului, determinate de S. A. Wasastjerna (1923).

Goldschmidt a putut lega raza efectivă a atomului sau a ionului de numărul atomic al elementului, de valența atomului și de indicele sau numărul de coordonare caracteristic atomului în structura dată (adică numărul de atomi al altui element care îl înconjură).

A. K. Boldîrev (1934—36) a adăugat variația energiilor de legătură în urma polarizării ionilor în compușii luați în considerare, adică modificarea formei și dimensiunilor lor sub influența ionilor vecini. Această proprietate a fost exprimată cantitativ de M. Born și W. Heisenberg (1924) pe baza datelor optice și spectroscopice. Goldschmidt și colaboratorii săi au expus rolul pe care această variație o joacă în teoria modernă a structurii cristalelor. (*Die Gesetze der Kristallchemie*, 1925).

În urma acestor frumoase cercetări teoretice și experimentale, Goldschmidt a formulat următoarea „lege fundamentală“: „Structura cristalului este determinată de raportul cantităților unităților sale structurale, de raportul dimensiunilor lor și de proprietățile lor de polarizare“.

Termenul de unități structurale reprezintă aici atomii, sau ionii lor respectivi și grupările de atomi. Această lege contribuie la lămurirea cauzelor de care depind structurile cristaline, arătînd, de asemenea, că această problemă nu poate fi aprofundată fără un studiu mai complet al forțelor sub acțiunea cărora se formează cristalul, iar cunoașterea acestor forțe este strîns legată de cea a structurii atomului.

LEGĂTURILE ATOMICE ÎN CRISTALE. Natura forțelor de legătură în corpurile solide și în special în cristale a fost studiată între anii 1924 și 1937 de W. Biltz, G.H. Grimm, Pauling, A. von Antropoff, N. V. Sidgwick, F. Kajans, Goldschmidt, J.D. Bernal, J. Sherman, S. Dushman și F. Seitz.

Aceste cercetări au condus la repartizarea în patru categorii a forțelor de legătură ce acționează între diferitele unități structurale din cristale:

1) Legăturile ionice (sau heteropolare) ce acționează între doi ioni de sarcini contrare.

2) Legăturile de valență (homeopolare) care acționează între atomi ca în cazul rețelelor atomice tipice (de exemplu, atomii de carbon în diamant). W. Heitler și F. London (1927) au elaborat o teorie a acestor legături bazată pe mecanica ondulatorie.

3) Legăturile van der Waals care acționează între moleculele electric neutre. Aceste legături condiționate de inducția reciprocă a sarcinilor prezente în diferitele părți ale acestor molecule sînt slabe.

4) În sfîrșit, legăturile din cristalele metalice care rezultă, după Goldschmidt, din faptul că unitățile structurale încărcate pozitiv sînt scufundate într-un nor de electroni de valență comuni.

Corpurile solide sînt formate din nuclee atomice și electroni, iar structura lor este astfel încît întregul sistem al nucleelor și electronilor ia forma corespunzătoare energiei potențiale minime. Coeziunea unui cristal este legată de soliditatea sa mecanică; se poate prevedea deci că duritatea sa este strîns legată de caracterul și de distanțele reciproce ale particulelor sale.

Această problemă a fost studiată de A. Reis şi L. Zimmermann (1920—1926), apoi de E. Friedrich şi, în sfîrşit, de Goldschmidt (1927) care a dovedit că în cazul unei serii izomorfe duritatea scade odată cu distanţa dintre ioni.

O importantă lucrare a lui L. Pauling (1927), continuată de W. Zachariasen (1931) se referă la calculul teoretic al razelor ionice ale majorităţii elementelor, pentru reţelele de tip NaCl. Pauling şi-a bazat calculele atît pe datele experimentale cît şi pe teoria structurii atomice în concepţia mecanicii ondulatorii a lui Schrödinger.

Pentru structurile ionice, Pauling (1929) a dedus importanta noţiune de coordinaţie, adică numărul de atomi de un anumit tip grupaţi în jurul atomilor de un alt tip. Rapoturile razelor anionilor pe razele cationilor sînt legate de coordinaţie (sau de numărul de coordinaţie). Această noţiune reflectă o importantă proprietate a structurilor anorganice şi anume faptul că această grupare regulată de anioni în jurul cationilor, de exemplu, se menţin chiar cînd aceasta nu este impusă de simetrie. Ea a permis obţinerea de progrese în cunoaşterea tipurilor structurale şi, în special, în familia silicaţilor (B. E. Warren, 1929; W. L. Bragg, 1937).

IZOMORFISM ŞI POLIMORFISM. Cunoştinţele acumulate asupra structurii cristaline datorită radiaţiilor X au permis furnizarea unei definiţii mai riguroase a izomorfismului.

Ca şi Goldschmidt (1926), putem considera drept izomorfe substanţele care au formule analoage şi structuri cristaline analoage, compuse deci din atomi sau din ioni de dimensiuni relative şi de polarizări comparabile, ca, de exemplu, NaCl şi PbS.

Într-un sens mai restrîns, numeroşi autori rezervă termenul de izomorfism structurilor care formează între ele serii complete sau parţiale de cristale mixte; dimensiunile absolute ale atomilor sau ionilor trebuie în acest caz să corespundă în limite înguste.

Studiile asupra transformărilor polimorfe au cunoscut un nou avînt datorită analizei structurilor cristaline cu ajutorul radiaţiilor X.

F. Wallerant (1904) a studiat originea polimorfismului, iar G. Tammann (1903) a studiat influenţa presiunii şi temperaturii asupra stării substanţelor polimorfe. Goldschmidt (1926) a arătat că influenţa temperaturii asupra polarizării ionilor constituie principalul factor al schimbării structurii în substanţele polimorfe. M. J. Buerger (1936) a propus o teorie cinetică a transformărilor polimorfe studiind relaţiile între simetria structurii şi cea a atomilor constituenţi supuşi agitaţiei termice.

ANALIZA CHIMICĂ A MINERALELOR. Cunoştinţele asupra compoziţiei chimice a mineralelor beneficiază în secolul al XX-lea de progresele tehnicii chimiei analitice, de cele ale fizicii şi chimiei fizice. Metodele expuse în *Traité d'analyse des minéraux et des roches* a lui F.W. Hillebrand (1900) au permis îmbunătăţirea calităţii analizelor şi acordarea unei mai mari atenţii dozărilor urmelor de elemente.

După 1920, au fost aduse numeroase perfecţionări, în special analizei silicaţilor, prin folosirea unor reactivi organici şi prin introducerea de metode fotometrice pentru dozarea anumitor elemente, iar în cazul metalelor, prin analiza electrolitică cu potenţiale gradate (A. Lassieur, 1923).

În literatura geologică au apărut numeroase analize de roci şi de minerale: mii de analize ale rocilor magmatice au fost adunate şi interpretate de H.F. Washington (1917), în timp ce tratatele lui C. Doelter, Hintze şi E.S. Dana cuprindeau numeroase analize de minerale.

Metodele analizei spectrale aduc mari servicii în determinarea rapidă a elementelor ce există, în mici cantităţi, în minerale.

A. de Gramont a expus aşa-numita metodă a sărurilor topite pentru studiul mineralelor neconducătoare şi metoda „ultimelor linii (spectrale)" pentru evaluarea urmelor. Diverse cercetări mai recente (Ahrens, 1951; R. L. Mitchell, 1956) conduc la o determinare rapidă a conţinutului majorităţii elementelor.

Microanaliza cantitativă s-a dezvoltat, de asemenea, cu succes prin folosirea reactivilor organici care furnizează reacţii colorate (metoda „amprentelor") şi prin folosirea procedeelor cromatografice. În sfîrşit, perfecţionările analizei chimice prin spectroscopia de fluorescenţă cu radiaţii X (G. von Hevesy, 1932) au furnizat un mijloc preţios de determinare rapidă a elementelor; metoda recentă a „microsondelor electronice" (R. Castaing, 1955) permite adesea studiul unei suprafeţe cu diametrul de un micron.

Încercările pirognostice atît de folositoare cercetătorilor la determinări rapide pe teren au fost considerabil îmbunătăţite ca eficacitate şi precizie de către A. Braly (1921—26).

ANALIZA TERMICĂ. Metodele folosite de fizicienii-chimişti şi de metalurgişti pentru studiul transformărilor corpurilor solide sub acţiunea căldurii (R. Austen, H. Le Chatelier şi Saladin, 1904) pot fi folosite cu succes de mineralogi.

S. Kôzu şi M. Masuda (1926), J. Orcel (1926—35), S. Caillère (1933—36), S. Pavlovici au arătat eficacitatea analizei termice diferenţiale în studiul silicaţilor hidrataţi şi al hidraţilor metalici. Metoda este actualmente des folosită şi numeroşi cercetători i-au adus perfecţionări importante. Analiza termoponderală (M. Guichard, 1925), analiza dilatometrică (A. Portevin şi P. Chévenard, 1928—44; G. Chaudron, 1948), analiza termomagnetică, sînt constant folosite de mineralogi, iar aparatele ingenioase concepute de P. Chévenard permit realizarea acestor măsurători cu mare precizie.

ANALIZA IMEDIATĂ. Studiul asociaţiilor minerale necesită cel mai adesea o separare cît de riguros posibilă a mineralelor care le formează. Este preferabil de a apela la metode fizice care nu alterează mineralele (diferenţă de densitate, de proprietăţi magnetice sau dielectrice).

Pentru separările gravimetrice s-a generalizat folosirea lichidelor grele, iar în anumite cazuri s-a sugerat folosirea centrifugării. Mai multe modele de separatori magnetici au fost construite (A. F. Hallimond, 1930; S. G. Franz, 1958) şi s-au adus unele perfecţionări la metodele de separare electrostatică. S-au determinat constantele dielectrice ale mineralelor celor mai comune, iar în cazul sedimentelor argiloase, metoda de analiză fizică prin electroforeză a lui P. Urbain (1937) a permis realizarea unor noi separări. În sfîrşit, flotarea diferenţială folosită în practica industrială se aplică şi în anumite cercetări de laborator.

D. ASOCIAŢIILE MINERALE ÎN NATURĂ

DEFINIREA ŞI CLASIFICAREA SPECIILOR MINERALE. Teoria lui Haüy şi concepţia sa asupra moleculei integrante au permis punerea pe baze precise a noţiunii de specie minerală. Mai era însă controversată prioritatea ce trebuie dată unuia dintre cele două grupuri de caractere, cristalografice sau chimice, pentru a putea compara speciile minerale. Noţiunea de motiv cristalin, introdusă de G. Friedel la începutul secolului, urma în mod logic după cele de „moleculă integrantă“ (Haüy) şi de „moleculă cristalografică“ (Bravais şi Mallard); noua noţiune permitea definirea speciei minerale pe o bază mai concretă.

Caracterul fundamental al speciei minerale îl constituie ordinea geometrică, periodicitatea în aranjamentul materiei: radiocristalografia a ataşat noţiunii de motiv cristalin o semnificaţie esenţială care a permis precizarea raporturilor reale dintre proprietăţile fizice şi chimice ale mediului cristalin.

Substanţele minerale naturale, amorfe, sticloase, coloidale sau lichide care prezintă la analiza cu radiaţii X o structură dezordonată, formează în clasificare grupe separate, plasate alături de speciile cele mai apropiate de compoziţia lor medie (A. N. Winchell 1949).

Clasificările propuse în secolul al XIX-lea luau ca bază compoziţia chimică, ţinînd însă seama şi de proprietăţile cristalografice. În secolul al XX-lea, sistematica unanim admisă a lui P. Groth (1904, 1921), ia de asemenea ca punct de plecare tot compoziţia chimică, dar încearcă să stabilească influenţa acestei compoziţii asupra formei cristaline.

Teoriile moderne au condus la o clasificare generală a structurilor cristaline în patru familii mari, bazate pe tipurile de legături cunoscute în cristalografie: metalice, combinaţii ionice, combinaţii homeopolare şi combinaţii eteropolare. Există substanţe în care nu se manifestă decît un tip de legături (homodesmie) şi cele care-şi datoresc existenţa mai multor tipuri de legături (heterodesmie).

Punctul de vedere structural nu este totuşi singurul ghid care intervine în clasificarea folosită actualmente.

Diviziunile sînt stabilite, mai degrabă, pe categorii de clase chimice decît pe tipur structurale: elemente native, sulfuri, sulfo-săruri, oxizi simpli, oxizi complecşi, hidroxizi, cloruri, carbonaţi, nitraţi, iodaţi, boraţi, sulfaţi, seleniaţi, teluraţi, cromaţi, fosfaţi, arseniaţi şi, în sfîrşit, marea familie a silicaţilor.

În cadrul fiecărei clase, diviziunile care constituie *tipurile* sînt stabilite după raportul $A:X$, unde A reprezintă ionii pozitivi (cationii) sau atomii electropozitivi, iar X, ionii negativi (anionii) sau atomii electronegativi (Goldschmidt, 1928—1931). Tipurile sînt ordonate în fiecare clasă după rapoartele $A:X$ descrescătoare etc.

În linii mari, ansamblurile de specii minerale, care rezultă astfel, corespund celor trei diviziuni cristalochimice principale care decurg din caracterele structurale.

Folosirea datelor cristalochimiei a fost deosebit de eficace în înţelegerea structurii silicaţilor. F. Machatschki (1928) şi apoi B. Warren, W. L. Bragg (1928) şi L. Pauling (1929) au fost primii care au arătat importanţa ce trebuie acordată grupului tetraedric SiO_4 pentru a clasifica aceşti compuşi care reprezintă mai mult de 95% din scoarţa terestră. Astfel, silicaţii pot fi consideraţi drept compuşi din atomi de oxigen cimentaţi cu siliciu, aluminiu şi alte cîteva elemente, iar aceste elemente pot fi împărţite în trei categorii după modul cum se asociază cu oxigenul pentru a forma diverse structuri. Mai multe clasificări ale silicaţilor au fost propuse pe aceste principii (W. L. Bragg, 1930; H. Berman, 1937; C. K. Swartz, 1937; H. Strunz, 1941); ele cuprind aceleaşi tipuri de structuri şi corespund structurii bazate pe observarea caracterelor morfologice şi pe proprietăţile fizice.

În clasificările noi ale mineralelor, considerentele asupra structurii cristaline, asupra noţiunii de diadohie bazată pe analogia razelor ionice, asupra valenţei şi compensării sarcinilor în edificiul cristalin, permit precizarea naturii substituţiilor izomorfe.

Dar în cazul seriilor izomorfe, noţiunea de specie necesită o definire mai subtilă. În cursul formării unui mineral, eventualele schimbări din mediul generator nu conduc obligatoriu la naşterea unei noi specii. Transformarea mineralului original poate avea loc în mod continuu prin substituirea de ioni sau de atomi în structura sa. De aceea, nu trebuie impuse speciei limite prea rigide: seriile izomorfe de minerale (ca plagioclazii, spinelii) reprezintă unităţi mineralogice naturale şi pot fi descrise ca specii.

Studii generale asupra noţiunii de specie au fost prezentate de P. Niggli (1946), J. Orcel (1954), N. Grigoriev (1960).

PARAGENEZE ŞI CLASIFICĂRI PARAGENETICE. Noţiunea de parageneză, sau de asociaţii de minerale cu o origine comună (Breithaupt, 1849) s-a dezvoltat în secolul al XIX-lea pe baza a numeroase observaţii şi date experimentale. Clasificări paragenetice au fost elaborate de A. de Lapparent (1900, 1908), F. Angel şi R. Scharizer (1932); clasificarea lui I. Kostov (1954) încearcă să reunească într-un mod general principiile geochimice, cristalochimice şi genetice.

Clasificarea lui A. de Lapparent ordonează mineralele după asociaţiile lor şi după tipurile lor de zăcămînt: minerale din rocile fundamentale (eruptive şi metamorfice), elemente ale zăcămintelor minerale nemetalifere, combustibili minerali, elemente ale zăcămintelor metalifere (minereuri). Clasificările paragenetice constituie o legătură folositoare între clasificările cristalochimice şi cele litologice. D. S. Korjinski (1935—57) a aprofundat studiul bazelor fizico-chimice ale analizei paragenezelor mineralelor, făcînd apel la noţiunile de echilibre chimice şi la metodele termodinamicii chimice.

MINERALELE RADIOACTIVE. Mineralele radioactive trebuie să constituie obiectul unei expuneri speciale, deoarece descoperirea radiului de către Pierre şi Marie Curie ca şi calea atît de fecundă deschisă de studiul fenomenelor radioactive, reprezintă consecinţe ale studiului pehblendei şi al altor minerale de uraniu şi de toriu[3]. În secolul al XX-lea, numeroşi mineralogi s-au dedicat studiului acestor minerale.

De altminteri, dintre diferitele metode folosite pentru a determina durata absolută a erelor geologice[4], radioactivitatea pare a fi cea mai exactă. Metodele de măsurare se bazează pe cunoaşterea perioadelor de dezintegrare ale elementelor radioactive conţinute în minerale.

---

[3] Vezi studiul lui J. Teillac (pp. 330—332).

[4] Această problemă a fost expusă de R. Furon (pp. 507—508).

PETROGRAFIA. În cursul secolului al XX-lea, bazîndu-se pe datele mineralogice, studiul rocilor a beneficiat din plin de progresele chimiei şi ale chimiei fizice. Metoda microscopului polarizant s-a perfecţionat şi a permis determinarea cu precizie a componenţilor mineralogici ai rocilor silicatate şi a arhitecturii structurii lor. A fost acumulat un număr considerabil de analize globale de roci eruptive.

Încă din anul 1890, F. Loewinson-Lessing a propus clasificarea rocilor după „coeficientul lor de aciditate", adică raportul dintre numărul de molecule de oxigen corespunzătoare conţinutului în SiO_2 şi numărul de molecule de oxigen din baze, dar această clasificare a fost puţin folosită în afara Rusiei ca şi cea a lui A. Osan (1899). F. Fouqué şi A. Michel-Lévy (1889—97) au introdus în mod sistematic date chimice în clasificarea lor care se bazează esenţial pe compoziţia mineralogică şi pe structură şi reprezintă punctul de plecare al clasificărilor moderne.

Cross, Iddings, Pirsson şi Washington au stabilit în anul 1903 o clasificare bazată pe noţiunea de „compoziţie virtuală" a magmei originale şi pe luarea în considerare a „mineralelor etalon" şi a „parametrilor magmatici". P. Niggli (1920) a propus un tip de clasificare pur chimic care este adesea folosit împreună cu celălalt tip.

Ştiinţa rocilor poartă de mult timp denumirea de petrografie, pe care unii cercetători englezi şi americani o rezervă totuşi părţii sale descriptive. A. Lacroix a folosit termenul de litologie într-un sens genetic ca şi unii mineralogi de la sfîrşitul secolului al XVIII-lea. V. Beliankin (1953) se ridică împotriva unei deosebiri prea nete între aspectul descriptiv şi punctele de vedere teoretice şi explicative. J. Orcel (1957) consideră că petrografia are ca scop principal studiul condiţiilor de formare a rocilor, adică studiul proceselor petrogenetice.

Clasificarea petrografică a lui Fouqué şi Michel-Lévy a fost revăzută şi dezvoltată de A. Lacroix care a făcut din ea un instrument de cercetare remarcabil în cunoaşterea proceselor litologice. Astfel, Lacroix a fost continuu preocupat de a determina relaţiile reciproce ale rocilor în timp şi în spaţiu, de a căuta să definească condiţiile genezei lor, luînd în considerare în acelaşi timp şi observaţiile mineralogice şi datele chimice. În privinţa celor din urmă, el s-a bazat pe clasificarea chimico-mineralogică a petrografilor americani, dar reţinînd de la aceştia numai utilizarea parametrilor magmatici care exprimă compoziţia chimică „virtuală" a rocii.

Datorită acestei metode care uneşte cele trei puncte de vedere ale mineralogiei, chimiei şi geologiei, Lacroix a evidenţiat în special cele patru noţiuni „litologice" ale mineralelor simptomatice, tipurile heteromorfe, faciesurile de variaţii litologice şi seriile litologice care sînt de o mare importanţă generală pentru studiul genezei rocilor eruptive. El a precizat, pe de altă parte, noţiunea de provincii petrografice sau magmatice, introdusă de P. Niggli şi Holmes.

Noţiunea de specie în petrografie trebuie luată în considerare cu mai multă supleţe. Lacroix a remarcat că diviziunile efectuate în clasificări „reprezintă discontinuităţi introduse din comoditate sau din necesitate în ansamblurile continue, dar ele trebuie astfel alese, încît punctele de vedere mineralogic, chimic şi genetic să coincidă cît mai bine".

W. E. Tröger (1955) a criticat noţiunea de „tip de rocă" şi pe cea de punct de vedere genetic, în cadrul clasificării. H. Termier şi G. Termier au subliniat, dimpotrivă (1953), fecunditatea unei clasificări genetice a rocilor eruptive şi cristalofiliene.

STRUCTUROLOGIA. B. Sander şi W. Schmidt au inaugurat această nouă ramură a petrografiei începînd din anul 1925. Prin studii microscopice bazate pe folosirea platinei teodolit, aceşti autori au arătat că mineralele ce formează rocile şi care au suferit o acţiune mecanică intensă, formează grupări legate prin relaţii de simetrie caracteristice. Aceste metode, care au fost introduse şi perfecţionate în Franţa de F. Kraut după 1945, confirmă, în ansamblu, analogia procesului de deformare a rocilor cu fenomenele de curgere plastică, studiate în reologie.

METAMORFISMUL; ROCILE MAGMATICE ŞI PETROGENEZA PROFUNDĂ. Geologii şi mineralogii secolului al XIX-lea au definit metamorfismul de contact şi metamorfismul regional sau general. A. Lacroix (după 1888) a studiat asociaţiile minerale ce apar în aureolele de contact ale rocilor eruptive şi a arătat importanţa rolului jucat de produsele volatile emanate de magmă asupra celor două tipuri de metamorfism, strîns legate între ele. El a confirmat astfel ideile susţinute de Michel-Lévy în lucrările acestuia asupra granitului. Cercetările sale asupra rocilor vulcanice au pus în evidenţă metamorfismul datorat lavelor (1893) şi noţiunea de autopneumatoliză (1906).

Ipoteza metamorfismului regional, formulată de Delesse, Élie de Beaumont şi apoi de Lukacevici (1908), dezvoltată de Van Hise şi de F. Becke, a constituit obiectul unor numeroase studii. La nivelul observării acestor mari ansambluri pe care le reprezintă formaţiunile cristalofiliene, clasificarea se bazează pe concepţia zonelor de profunzime (V. Grubenmann, J. Jung şi M. Roques).

Fiecare zonă este definită prin caractere mineralogice şi chimice şi corespunde unor etape speciale din evoluţia condiţiilor termodinamice ale mediului în care are loc cristalizarea maselor minerale considerate, cunoscînd adesea aportul de substanţe sau transformările datorate unor deplasări tectonice (diaftoreza lui Becke, 1909; retrometamorfismul lui V. Obrucev, 1929, al lui A. Harker şi al şcolii franceze).

La scara observării masivelor înconjurate cu roci eruptive sau cu formaţiuni vulcanice, la baza clasificărilor mineralogice, stau noţiunile de magme şi de diferenţiere magmatică. Dar cele două domenii au un punct comun: studiul petrogenezei profunde. Referitor la acest subiect au fost elaborate diferite teorii pornind de la datele relative la procesele vulcanice şi la metamorfism. Problema originii rocilor granitice constituie „piatra de încercare" a acestor teorii.

Aproape toţi geologii şi petrografii admit că în profunzime rocile sedimentare se transformă fără fuziune, prin metamorfism în roci cristaline formate din aceleaşi minerale ca şi rocile vulcanice de la suprafaţă.

Pe de altă parte, anumite roci grăunţoase (ca granitele) trec printr-o serie de tranziţii în roci metamorfice. Apare adesea o zonă complexă de roci granitice care injectează roci metamorfice (zona migmatitelor). Procesul de trecere a rocilor sedimentare sau eruptive transformate în roci granitice a fost denumit de J.J. Sederholm „palingeneză".

Mai multe teorii se întrec în explicarea acestor fapte. „Solidiştii" consideră că granitul, ca şi rocile metamorfice, s-a format prin transformarea în stare solidă cristalină a rocilor preexistente, fără a mai trece printr-o stare intermediară topită. „Lichidiştii" sau „magmatiştii" consideră, dimpotrivă, că granitul a trecut printr-o fază preliminară topită. „Migmatiştii", reprezentaţi de şcoala scandinavă a lui Sederholm au o poziţie intermediară şi descriu cu precizie fenomenele de anatexie care produc migmatitele. Toate aceste puncte de vedere au fost disputate cu înfocare.

Din 1910, teoriile magmatiste au primit sprijinul datelor experimentale ale lui N.L. Bowen; P. Niggli şi colaboratorii săi au folosit aceste sinteze, ca şi numeroase analize coordonate cu ajutorul metodelor grafice, pentru a demonstra originea majorităţii rocilor grăunţoase, prin diferenţiere magmatică. Dealtminteri, şcoala scandinavă a confirmat rezultatele şcolii franceze (Michel-Lévy, Lacroix, P. Termier) asupra difuzării elementelor chimice din zona magmatică pînă în zonele metamorfice însoţită de geneza unor noi minerale.

Dar discuţiile ce au loc se referă, de fapt, la starea materiei la începutul transformărilor în profunzime; această stare denumită „oligofază" sau „dinamomorfă" (L. Glangeaud, 1943, 1947) ar corespunde unei dezordini atomice favorabile migrării atomilor.

H. şi G. Termier au remarcat faptul că solidiştii n-au ajuns încă la o teorie coerentă a petrogenezei, în timp ce magmatiştii au făcut un efort lăudabil de sinteză bazat pe legea fazelor (Niggli, 1936). Solidiştii au contestat, cel puţin în primele lor articole, rolul apei în metamorfism şi granitizare şi au luat în considerare migraţiile chimice „în solid" (R. Perrin şi M. Roubault), bazîndu-se pe observaţiile efectuate în pereţii cuptoarelor metalurgice (1939). De fapt, analiza gazelor obţinute prin calcinarea rocilor eruptive şi vulcanice, a celor furnizate de exhalaţiile vulcanice, existenţa în anumite minerale a unor incluziuni apoase primare (G. Deicha, 1955), prezenţa oxidrililor OH în constituţia numeroaselor minerale din roci demonstrează faptul că apa a jucat un rol important. Experienţele lui J. Wyart (1947) şi ale doamnei Christophe-Michel-Lévy (1953), ca şi ale lui H.S. Yoder (1952) confirmă dealtminteri faptul că acest rol a fost fundamental şi nu poate fi comparat cu acela al unui catalizator, cum presupun solidiştii.

Granitul s-a instalat uneori în marile zone de metamorfism regional în cursul mişcărilor de cutare (granite sincinematice de aspect stratiform); alteori, dimpotrivă, a străbătut prin serii deja cutate formînd granitele în masive înconjurătoare, cu care sînt adesea în legătură importante zăcăminte metalifere.

Teoria zonelor de profunzime ale metamorfismului regional a fost dezbătută de geologii sovietici şi, în special, de N.P. Semenenko (1953). O analiză aprofundată a problemelor metamorfismului, legată de probleme de practică minieră, a arătat că procesele tectonice, magmatice şi metamorfice sînt legate între ele şi că migraţiile şi acumulările de elemente ce intră în constituţia minereurilor metalice sînt legate de manifestări magmatice posterioare cutărilor.

D.S. Korjinski (1940) s-a ridicat împotriva noţiunilor de metamorfism considerat ca „o adaptare a rocilor la condiţiile de temperatură şi de presiune". El consideră că „procesele metamorfice încep doar în prezenţa lichidelor sau a soluţiilor cu aspect lichid, în care apa reprezintă componenta principală".

Numeroşi autori au încercat să lămurească noţiunea de magmă. Folosit pentru prima dată de Vogelsang, acest termen defineşte, în general, materia originală a rocilor magmatice.

Iddings şi Washington consideră că „o pungă de magmă“ nu este un recipient care conţine lichid, ci o anumită stare a pămîntului, capabil de a apărea la diferite profunzimi, în funcţie de condiţiile locale, de compoziţie chimică, de presiune şi de temperatură. A. Dauvillier (1947) consideră că lichefierea unei roci solide poate fi provocată prin apariţia apei, prin efecte de capilaritate, datorită excepţionalei sale mobilităţi în starea supracritică. F.S. Turner şi J. Verhooguen (1951) insistă asupra faptului că fluiditatea unei magme, apare chiar dacă doar o porţiune este lichidă.

Problema de a şti dacă a existat sau nu o magmă primară a fost aprig dezbătută. Numeroşi geologi au considerat că magma bazaltică ar putea constitui magma primară, din care s-a format majoritatea rocilor magmatice, prin cristalizare fracţionată, prin asimilarea diferitelor substanţe şi prin eliminarea substanţelor volatile. Studiul meteoriţilor pare să arate, totuşi, că în stratele sale profunde (mantaua), Pămîntul este format dintr-un material ultrabazic, iar ansamblul stratelor granitice şi bazaltice nu reprezintă decît 1,2—1,4% din volumul său.

Procesul simplu de diferenţiere prin greutate şi prin cristalizare nu pare a fi suficient în explicarea formării produselor bazaltice sau granitice. Se pare că a existat o fuziune continuă şi o extracţie a amestecurilor eutectoide cele mai fuzibile, în condiţii dinamice care au condus la topiri şi solidificări repetate (A.E.Fersman, 1933; A. Holmes, 1932). Remarci diferite au fost făcute în această direcţie de diferiţi autori. Una dintre ipotezele cele mai recente este cea a lui P.N. Kropotkin (1953) care consideră că magma granitică tînără ar reprezenta materialul iniţial al blocurilor sialice, dar că cea mai mare parte a magmei granitice de origine palingenetică ar fi luat naştere pe baza unor procese de orogeneză, în cursul modificării rocilor sedimentare şi metamorfice.

Subliniem şi faptul că cu ajutorul legilor termodinamicii şi ale cristalochimiei, P. Niggli (1935—38) şi A. Fersman (1934—37) au studiat într-un mod aprofundat evoluţia magmei şi a derivatelor sale, i-au definit etapele esenţiale şi au confirmat vechea idee de a lega originea zăcămintelor metalifere filoniene de cea a rocilor magmatice.

STUDIUL ZĂCĂMINTELOR METALIFERE. Constituind studiul proceselor ce au dat naştere concentraţiilor abundente ale unei substanţe chimice oarecare, metalogenia beneficiează de progresele realizate în diferitele ramuri ale ştiinţei Pămîntului şi în domeniul chimiei fizice.

Înrudirea dintre litologie şi metalogenie a fost subliniată în numeroase lucrări începînd cu cele ale lui L. de Launay (1897—1913). Zăcămintele minerale pot fi clasificate în două mari categorii, după cum originea lor este *endogenă* (legată de procese ce evoluează în interiorul scoarţei terestre) sau *exogenă* (decurgînd din procese ce evoluează în regiunile superficiale ale scoarţei terestre şi fiind din această cauză, strîns legată de activitatea organismelor vii, inclusiv omul).

Principalele cercetări au fost îndreptate asupra structurii zonelor mineralizate, asupra raporturilor lor cu rocile gazdă şi centrele de activitate magmatică şi asupra transformărilor depozitelor metalifere în cursul perioadelor geologice (L. de Launay, W.T. Lindgren, W.H. Emmons, P. Niggli, A. Fersman). Un capitol esenţial tratează despre compoziţia mineralogică, structura şi formarea minereurilor ce constituie aceste zăcăminte. Progrese considerabile au fost realizate în această direcţie datorită examinării microscopice în lumina polarizată, reflectată (W. Campbell, 1906; J. Murdoch, H. Schneiderhöhn şi P. Ramdohr; J. Orcel, 1926—49; G.M. Schwartz; F.N. Cameron, 1950—61).

Studiul succesiunilor minerale şi al paragenezelor a condus la observaţii şi ipoteze interesante, în special cele ale lui Emmons (1917—33) şi Lindgren (1930—36), asupra distribuţiei zonare a mineralizărilor în jurul centrelor de activitate magmatică. Această teorie este combătută de mai mulţi geologi sovietici pe baza unor noi observaţii; V.I. Smirnov (1950) sugerează ideea că un depozit ia naştere prin „pulsaţii" efectuate în mai multe etape.

PETROGRAFIA ROCILOR SEDIMENTARE. Studiul zăcămintelor minerale de origine exogenă este legat de petrografia rocilor sedimentare care a căpătat o mare importanţă în secolul al XX-lea datorită rolului său în cercetările petroliere. Studiile aprofundate ale lui L. Cayeux (1897—1941) au contribuit la fizionomia modernă a acestei ştiinţe.

Numeroasele clasificări propuse apelează la diverse grupe de caractere considerate ca esenţiale: agenţii de depunere, compoziţie chimică şi dimensiunile elementelor, rolul organismelor şi al mediilor de sedimentare. Clasificarea lui A. Carozzi (1953), bazată pe natura fizică sau chimică a agenţilor de depunere, conduce la luarea în considerare a grupului de roci detritice mobile sau consolidate (nisipuri, gresii, argile, breccii şi conglomerate) şi a grupului rocilor de origine chimică sau biologică, dintre care unele au o mare importanţă industrială (argile, roci carbonatate, huile şi ligniţi, bauxite, minereuri oolitice de fier, roci fosfatice, roci salifere). Grupul de roci pentru care aceste progrese au fost cele mai pronunţate este grupul rocilor argiloase.

Perfecţionarea metodelor de cercetare a permis o definire mai precisă a speciilor minerale şi a diferitelor faciesuri luate de un acelaşi mineral în mediile argiloase, a modului lor de asociere cu alte specii minerale, a transformărilor lor şi a ordinii lor de succesiune în mediul natural.

În urma cercetărilor lui H. Le Chatelier (1887, 1914), a lui A. Lacroix (1894) şi A. Fersman (1913) numeroase lucrări au îmbogăţit cunoştinţele necesare asupra compoziţiei şi genezei filitelor argiloase. Acestea au fost prezentate în lucrările recente ale lu F.V. Ciuhrov (Moscova, 1955), ale lui C. Brown (Londra, 1961) şi ale lui S. Caillère şi S. Hénin (Paris, 1963). Colective de cercetare în această direcţie au fost create în diverse ţări, iar activitatea lor este coordonată de un Comitet Internaţional (C.I.P.E.A.).

Minereurile sedimentare de fier, studiate la începutul secolului de L. Cayeux, au constituit de atunci obiectul unor cercetări generale sau regionale.

Vom cita, în special, lucrările lui W. Grüner (1922), A. F. Hallimond (1925), E.S. Moore şi J.E. Maynard (1929), A.O. Hayes (1915, 1929). Lucrările cercetătoarei Caillère şi F. Kraut (1947—55) au condus la concluzia că minereurile oolitice din Lorena ar fi apărut în urma distrugerii unui complex lateritic format pe o arie continentală, în condiţiile climei calde şi umede din Liasic.

Bauxitele şi lateritele, care prezintă un interes deosebit pentru studiul alterării rocilor silicatate şi carbonatate şi pentru extracţia aluminiului, au constituit obiectul unor numeroase studii începînd cu cele ale lui L. Fermor (1912).

Studiul compoziţiei huilelor a profitat de studiile microscopice efectuate în Europa şi în Statele Unite, iniţiate de lucrările lui N.C. Stopes (1919—35), H. Potonié (1924) şi A. Duparque (1927—33).

E. GEOCHIMIA ŞI COSMOCHIMIA

Termenul de geochimie a fost introdus în 1838 de chimistul elveţian Schönbein. Dar dezvoltarea adevărată a acestei ştiinţe a avut loc în secolul al XX-lea. Au apărut trei direcţii principale:

1. Studiul sistematic al paragenezelor minerale, iniţiat de Breithaupt (1849), a condus la definirea diverselor tipuri de succesiuni minerale care formează anumite linii genetice şi la stabilirea unor importante scheme de ansamblu (F. Sandberger, 1885: filoane hidrotermale; W.C. Brögger, 1890: silicaţi; van't Hoff, 1903: depozite de săruri; A. Fersman, 1932: pegmatite etc.).
2. Metalogenia, care datorită anumitor aspecte a prefigurat geochimia actuală.
3. Geochimia propriu-zisă al cărui scop este de a aprofunda problemele teoretice pe care le ridică originea distribuţiei elementelor chimice şi a combinaţiilor lor în diversele strate ale globului pămîntesc. Această ştiinţă constituie prelungirea naturală a mineralogiei şi a cristalografiei; şi nu este întîmplător faptul că primii săi mari creatori F.W. Clarke, V.J. Vernadski, V.M. Goldschmidt erau excelenţi mineralogi. Dealtminteri, geochimia a profitat şi de progresele chimiei fizice şi ale fizicii atomice, care au permis o mai bună înţelegere a transformărilor suferite de mediul cristalin în cursul evoluţiei scoarţei terestre.

La un alt nivel de abstractizare, diferiţi autori, continuîndu-l pe Vernadski (1924) şi Fersman (1933), au introdus noţiunile de cicluri geochimice şi de învelişuri termodinamice ale scoarţei terestre, precum şi diferite generalizări bazate pe clasificarea periodică a lui Mendeleev (vezi tratatele lui Goldschmidt, ediţia 1954 şi Th.G. Sahama şi K. Rankama 1950).

Progresele recente ale fizicii nucleare au îmbogăţit geochimia cu un nou domeniu de cercetări care se bazează pe noţiunea de izotopie; importanţa sa teoretică şi practică provine din faptul că distribuţia izotopilor poate furniza lămuriri asupra proceselor de dispersie şi de concentrare ale elementelor chimice.

Astfel, mineralogul-geochimist dă treptat prioritate noţiunii de atom faţă de cea de specie minerală; el nu trebuie să uite, totuşi, că considerentele geochimice nu dobîndesc toată valoarea lor decît dacă sînt legate de noţiunea de specie minerală în toată semnificaţia sa. Din punct de vedere energetic, trecerea spre starea cristalină reprezintă un proces de transformare într-o stare mai stabilă şi mai săracă în energie. Cu cît un ion va degaja mai multă energie, contribuind la formarea unui edificiu cristalin, cu atît va fi mai capabil de a se acumula în condiţiuni importante în scoarţa terestră. Proprietăţile acestor reţele cristaline variază după tipul lor, după valoarea distanţelor reticulare, şi după relaţiile dintre energiile de legătură ce pot fi definite în cristal. Noţiunea de cîmp cristalin, astfel introdusă, permite să se pătrundă mai profund în însăşi esenţa cristalului, în structura sa, dar geochimistul trebuie să adapteze aceste cercetări la cerinţele specifice ştiinţei sale.

O etapă importantă în această direcţie a fost depăşită datorită introducerii de către A. Fersman (1937) a noţiunii de coeficienţi energetici *(Ek* şi *Vek)* pentru a exprima energia reticulară. Obţinuţi cu ajutorul formulei lui A. Kaputinski (1933), aceşti coeficienţi determină cantitatea de energie emisă de un ion cînd trece din starea dispersă, în cea a unui ion sau a unui atom înglobat într-o reţea cristalină şi definesc gradul de soliditate al legăturilor interatomice. Deşi ia în considerare puţin prea exclusiv tipul de legătură ionică cu caracter electrostatic, această teorie, reînnoită pe baza cuceririlor recente ale cristalochimiei şi fizicii atomice, păstrează un oarecare interes.

Geochimia include şi studiul legilor de distribuire a elementelor chimice în biosferă (V.J. Vernadski, 1929). Importanţa interacţiilor dintre fenomenele vieţii şi materia terestră a condus la naşterea biogeochimiei, care este o ştiinţă fundamentală legată de biochimie, şi care formează legătura dintre geochimie şi biologie, importantă în special pentru cercetările privind originea vieţii (J.D. Bernal, 1947; A. Oparin şi V. Fesenkov, 1957—58). Legătura geochimiei, mineralogiei şi biogeochimiei cu pedologia trebuie, de asemenea, să fie subliniată.

METEORIŢI, TECTITE ŞI COSMOCHIMIE. Analiza spectrală a luminii emise de aştri ne furnizează informaţii precise asupra constituţiei chimice a Universului dincolo de limitele planetei noastre. Dar singurul mesaj direct din partea obiectelor cereşti ne este adus de căderile de meteoriţi (se cunosc actualmente mai mult de o mie), care permit efectuarea unor interesante observaţii comparate din punct de vedere litologic şi geochimic.

Principiile propuse de Daubrée pentru clasificarea meteoriţilor (vezi vol. III, 1. p. 375) au fost menţinute în linii mari. Numeroase cercetări au fost efectuate asupra compoziţiei meteoriţilor, asupra tectitelor şi asupra pulberilor cosmice, asupra naturii şi proporţiei izotopilor pe care îi conţin şi asupra radioactivităţii lor, legată într-o oarecare măsură de acţiunea radiaţiilor cosmice de mare energie. Aceste studii au furnizat rezultate importante asupra populării, vîrstei şi modului de formare a universului nostru planetar.

Marile colecţii mineralogice ale diferitelor ţări, cum sînt cele ale Muzeului naţional de istorie naturală din Franţa, conţin importante colecţii de meteoriţi. Un Comitet permanent al Meteoriţilor a fost creat în 1948 pe plan internaţional. Catalogul lui G.T. Prior şi Max H. Hey (ediţie nouă, 1953) conţine localizarea tuturor căderilor de meteoriţi cunoscute pînă în 1953; după această dată Comitetul permanent internaţional continuă inventarierea lor.

Importanţa informaţiilor acumulate asupra meteoriţilor şi amploarea noilor cercetări întreprinse asupra lor face ca o adevărată litologie cosmică să fie în curs de dezvoltare. Această ştiinţă, a cărei importanţă a crescut după primele experienţe spaţiale, stă la baza cosmochimiei, care constituie prelungirea metodelor şi realizărilor geochimiei la ansamblul cosmosului.

F. CĂILE EXPERIMENTALE ÎN MINERALOGIE

Experimentarea chimică, efectuată pe calea sintezei, aduce importante elemente de referinţă asupra genezei şi transformării mineralelor în natură. Căile deschise şi metodele folosite în secolul al XIX-lea s-au dezvoltat, perfecţionîndu-se cu tehnici noi şi cu aparatură care aduce mai multe posibilităţi şi o mai mare precizie în condiţiile experimentale întîlnite (sinteze hidrotermale, topiri la temperaturi înalte, sinterizări).

Dînd o nouă orientare experienţelor lui H. de Sénarmont (1851), R. Weil şi R. Hocart (1951—53) au continuat cu succes cercetările asupra formării minereurilor de argint şi a diverselor sulfuri şi arseniuri. Alte tipuri de reproduceri experimentale au furnizat indicaţii importante asupra originii anumitor microstructuri observate în minereurile metalice sau asupra condiţiilor de formare a minereurilor lor constituente. Alte cercetări au fost îndreptate spre studiul fenomenelor de înlocuire în sulfuri; au fost reproduse microstructuri identice celor observate în natură.

În domeniul petrogenezei, cercetările experimentale ale lui J. Morocewicz (1898), J.H.L. Vogt (1924), N.L. Bowen, W. Eitel, P. Grigoriev şi O.F. Tuttle asupra reproducerii mineralelor din magme, pe cale uscată, au fost determinante.

Rolul apei ca mineralizator în stare supracritică, în prezenţa sărurilor alcaline, demonstrat de Ch. şi G. Friedel (1890—91) a fost confirmat şi lămurit prin experienţele lui G.W. Morey şi Earl Ingerson (1937) şi ale lui C.J. Van Nieuwenburg (1932—35), care au arătat marea mobilitate a siliciului şi posibilităţile sale de reacţie în condiţii hidrotermale, sub presiune. Sinteza mai multor minerale argiloase a fost realizată în aceleaşi condiţii de W. Noll (1935—36) şi de R. Roy (1950—61).

Folosind temperaturile înalte şi presiunile ridicate realizate cu ajutorul explozivilor, A. Michel-Lévy şi J. Wyart (1938—48) au reprodus diverse minerale care apar în transformările metamorfice. În alte condiţii experimentale, Christophe-Michel-Lévy (1953—57) a reprodus o serie de silicaţi de metamorfism şi a reconstituit o serie de parageneze naturale. Pe de altă parte, J. Wyart şi H.G.F. Winkler au efectuat cercetări fecunde asupra transformărilor metamorfice ale anumitor roci argiloase, în timp ce S. Caillère, S. Hénin şi J. Esquevin au realizat sintezele unor minerale filitoase (1948—51). Problema argilelor pur aluminice nu a putut fi încă rezolvată.

În ansamblu, aceste rezultate obţinute experimental confirmă ipotezele făcute în trecut de către mineralogi şi petrografi pe baza observaţiilor de teren.

CONCLUZIE. Excepţionala dezvoltare a ştiinţelor mineralogice ce a avut loc în special de la începutul secolului al XX-lea dovedeşte rolul esenţial pe care ele îl joacă printre ştiinţele Pămîntului. Prin cercetările sale asupra edificiilor cristaline, mineralogul ocupă un loc privilegiat care îi permite să sesizeze, poate mai bine decît alţii, unitatea fundamentală a acestui vast ansamblu de cunoştinţe, precum şi relaţiile reciproce ce există între ele. Edificiile cristaline reprezintă de fapt unul dintre domeniile de convergenţă, „un nod“, al diverselor aspecte ale schimburilor de energie studiate de chimia-fizică şi de termodinamică, în special dacă se consideră cristalele nu numai intrinsec, ci şi în funcţie de proprietăţile fizico-chimice ale mediului în care se formează sau în care evoluează.

CAPITOLUL III

Geologia

Secolul al XIX-lea s-a încheiat într-o stare de euforie generală, lumea științifică fiind convinsă că a rezolvat problemele esențiale. Expedițiile științifice îndepărtate au adus o cantitate considerabilă de informații; a fost publicată o Hartă geologică a Pămîntului, iar Eduard Suess a putut scrie „Fața Pămîntului" lucrare monumentală în care păreau a fi abordate toate problemele geologice.

În realitate, nu se cunoșteau decît anumite regiuni ale Europei și Americii de Nord, și cîteva aflorimente din celelalte continente. Petrografia își găsea cu greu drumul; paleontologia rămîne strict descriptivă, iar ipotezele și teoriile se găseau încă la baza nesigură a întregii tectonici.

NOILE MIJLOACE DE CERCETARE. Geologii secolului al XIX-lea au fost observatori excelenți, dar nu au cunoscut alt mijloc de cercetare decît ciocanul. Analiza chimică, studiile microscopice, recunoașterea fosilelor, studiul formei stratelor geologice le completau documentarea și le permiteau realizarea scopului esențial al muncii lor: stabilirea scării stratigrafice.

În secolul al XX-lea însă, mijloacele de cercetare s-au înmulțit. Geologia a trebuit să-și extindă domeniul de informații și să folosească metodele altor științe și chiar ale industriei. Acesta reprezenta un fapt nou, caracteristic secolului al XX-lea. Necesitățile tehnice, rolul important al geologiei în viața modernă au impus cercetări precise, care depășeau simplul studiu al rocilor. Prospectarea apei, a minereurilor, a cărbunelui și, în special, a petrolului, au condus la necesitatea studierii în profunzime a subsolului, care scăpa observației directe.

FORAJELE DE MARE ADÎNCIME. Cunoscută de peste 2 000 ani în China, practica forajelor adînci s-a răspîndit în Occident în secolul al XX-lea. Recordul actual aparține Statelor Unite, cu o adîncime de 7 728 m, realizată în 1958 la Pecos County în partea de vest a statului Texas.[1]

Instalațiile moderne de foraj sînt formate dintr-o „carotieră" care permite extragerea unei coloane de material forat. Studiul rocilor și al fosilelor (în special, al microfosilelor) obținute în cursul forajelor este deosebit de util pentru stratigrafie şi tectonică: observaţiile necesare acestora pătrund astfel la adîncimi inaccesibile omului.

---

[1] Se apreciază că forajele submarine au depășit adîncimea de 9600 km (Sonda „Rogers" — S.U.A.) — *N.r.*

Forajele au fost extinse şi în domeniul submarin. Cercetătorii americani, sovietici şi din Ţările nordice au introdus în acest caz folosirea carotierelor care pot extrage pînă la 20 m de sedimente mobile, aducînd astfel în laborator probe ale formaţiunilor cuaternare şi terţiare, în locul mîlurilor marine recente pe care le recoltează dragele.

Perfecţionarea metodelor tehnice a încurajat o echipă de savanţi americani, condusă de W. Bascom, să iniţieze un proiect spectaculos: proiectul „Mohole". Acest proiect se referă la traversarea scoarţei terestre şi atingerea „mantalei" sub linia de discontinuitate Mohorovičić. Această linie se găseşte la o adîncime de aproximativ 40 km sub continente şi numai 7—8 km sub ocean.

Dificultatea principală a acestui proiect a constat în realizarea unui foraj de adîncime pe fundul oceanului. Primele încercări au fost efectuate în anul 1961. A fost construită o navă specială şi au fost executate foraje preliminare de încercare în Pacific, la 220 km în largul coastelor vestice ale Mexicului. Au fost coborîte pe fundul oceanului 3900 m de coloane de sondă şi s-au forat 150 m în rocile de fund, atingîndu-se un strat de bazalt. Aceleaşi încercări au fost repetate de mai multe ori. Dificultatea majoră a acestei etape a constat în găsirea modalităţii de a schimba sapa cu diamante a sondei după uzare, fără a scoate garnitura de prăjini din gaura sondei.

Uniunea Sovietică, la rîndul ei, a proiectat o serie de foraje cu amplasări terestre pînă la o adîncime de 10—15 km.

OBSERVAŢIA AERIANĂ. La fel cum arborii ascund pădurea tot aşa observaţiile de amănunt pe teren, maschează faptele importante: aşa se întîmplă că uneori se descoperă pe hartă fapte care nu au fost observate pe teren.

Geologia aeriană a devenit astfel un domeniu de mare interes. Fotogeologia şi observarea aeriană uşurează ridicarea hărţilor topografice şi geologice şi permite, în special, să se distingă acele aliniamente de falii invizibile pe teren. Pe lîngă aceste avantaje incontestabile, avionul şi helicopterul permit efectuarea de deplasări rapide, adaptîndu-se bine şi la utilizarea anumitor metode de prospectare geofizică.

GEOFIZICA. Metodele fizicii, care nu interveneau deloc altădată în geologie decît prin intermediul microscopului, joacă astăzi un rol important în două ramuri principale ale geofizicii şi anume: seismologia şi prospectarea. Inginerul francez Conrad Schlumberger (1878—1936) a pus la punct între anii 1912 şi 1930 o serie de metode de prospectare indirectă, bazate pe metode fizice care furnizează anumite date şi care, fiind interpretate de geologi, dau o idee asupra structurii subsolului. Cercetătorii englezi, germani, americani şi sovietici au dat un impuls deosebit geofizicii stratigrafice şi tectonice care foloseşte patru metode principale[2].

---

[2] Vezi studiul lui P. Tardi (pp. 461 şi 464—466)

1. Metoda gravimetrică, care permite detectarea anumitor structuri profunde pe baza înregistrării anomaliilor gravimetrice (L. Eötvös, 1895; etc.).

2. Metoda seismică, care studiază propagarea, reflexia și refracția undelor explozive (B. Galițin, 1914; etc.).

3. Metoda electrică bazată pe diferența de conductibilitate electrică a diverselor strate accesibile ale scoarței terestre (C. Schlumberger, 1912).

4. Metoda magnetică, care permite realizarea hărților cu anomalii magnetice provocate, în general, de prezența unor mase importante de minereuri de fier (L. Eötvös, 1896; G. Heiland 1926 etc.).

În sfîrșit, radiogeologia permite detectarea mineralelor radioactive invizibile cu ochiul liber.

Aceste diferite metode, dintre care unele pot fi folosite la bordul avioanelor, furnizează numeroase elemente noi, atît pentru prospectare, cît și pentru geologie, care pot fi controlate prin forajele adînci.

Seismologia furnizează alte indicații asupra structurii globului pămîntesc pe care ea îl prezintă ca un ansamblu de medii diferite în formă de sfere, înglobate unele într-altele și separate prin discontinuități:

1) Scoarța terestră împărțită în două zone: o crustă superioară, silico-aluminoasă, *sial*-ul lui Suess, cu o grosime de vreo 30 km și cu densitatea 2,60; apoi o discontinuitate urmată de o crustă inferioară silico-magneziană, *sima*, formată din roci mai grele de tip bazaltic. La baza acestei scoarțe terestre se găsește discontinuitatea lui Mohorovičić (la aproximativ 40 km sub continente).

2) O „manta“ de roci ultra-bazice, de tipul dunitelor, limitate la partea inferioară de discontinuitatea lui Repetti (la aproximativ 980 km adîncime).

3) O sferă intermediară limitată la bază de discontinuitatea lui Gutenberg (la 2900 km adîncime).

4) Nucleul central, a cărui densitate atinge valoarea 17 în centrul Pămîntului, la o presiune de peste 3,5 milioane atmosfere.

Această reprezentare este încă departe de a fi definitivă, dar merită a fi semnalate două aspecte. În primul rînd, seismologia a dovedit că pe lîngă cutremurele de pămînt, ale căror focare se situează în scoarța terestră, în vecinătatea coastelor și foselor oceanice, mai există focare sub continente pînă la adîncimi de 700 km. Domeniul tectonicii se întinde deci dincolo de scoarța terestră pînă la „manta“. Dealtfel, noțiunea de „foc central“ a fost părăsită, deoarece starea fizică a materiei din centrul Pămîntului este practic încă necunoscută.

Metodele fizice au furnizat, de asemenea, multe elemente studiului oceanelor.

Sondajele cu ultrasunete au permis obținerea profilelor submarine corecte și descoperirea unui relief submarin cu totul necunoscut, cu lanțuri muntoase submarine și cu fose de peste 10 000 m. S-au putut trasa hărți foarte frumoase ale platformei continentale, demonstrîndu-se că formele sale sînt cele ale unui peisaj continental, supus eroziunii subaeriene, în timpul retragerii apelor marine. Progresele înregistrate în realizarea fotografiilor submarine au permis, de asemenea, obținerea unor imagini ale marilor adîncimi.

GEOCHIMIA. Analiza chimică parţială a mineralelor şi rocilor a servit drept bază a clasificării acestora, dar şi la studiul compoziţiei chimice globale a scoarţei terestre, care a preocupat pe geologi din cele mai vechi timpuri[3].

Încă din anul 1847, Élie de Beaumont, într-o notă *Sur les émanations volcaniques et métallifères*, furniza indicaţii asupra „distribuţiei corpurilor simple în natură", citînd în acest scop opera unui precursor: *Researches of theorical Geology* a lui H.T. de La Beche. În 1883, A. de Lapparent a furnizat indicaţii asupra importanţei silicaţilor în constituţia scoarţei terestre.

În anul 1889, savanţii americani au abordat studiul sistematic al acestei probleme. Ani îndelungaţi, F.W. Clarke şi colaboratorii săi, printre care şi H.S. Washington, au interpretat toate analizele rocilor şi au publicat *Data of Geochemistry*, iar în 1924, *The average Composition of Earth's Crust.* Datele acumulate de Clarke au suferit unele schimbări în ultimul timp. În Germania, Vogt a publicat conţinuturile în elementele mai rare: cupru, plumb, zinc, cobalt etc. Folosind primele valori date de Clarke şi de Vogt, L. de Launay a prezentat cunoştinţele la zi în acest domeniu în lucrarea sa *Traité de métallogénie* (1913). În continuare, trebuie citate lucrările lui Vernadski, apoi celebrul „Tratat de geochimie" *(Geokimie)* publicat în 1937 de A.E. Fersman în limba rusă. În Germania, H. Schneiderhöhn (1934) şi apoi P. Ramdohr (1942) au folosit datele lui Fersman cu uşoare modificări. V.M. Goldschmidt a publicat lucrări importante bazate pe analiza spectrografică; în lucrarea sa, *Tableau* din 1937, sînt păstrate totuşi o parte dintre datele lui Clarke şi Washington, completate cu datele pentru elementele rare. Mai pot fi citate lucrările lui Sandel şi Goldich (1943), Mason (1952) şi ale finlandezilor K. Rankama şi Th. G. Sahama (1950—54).

De acum, geochimia este o ramură a ştiinţelor Pămîntului. Ea se ocupă cu studiul istoriei elementelor din scoarţa terestră şi din întreg Universul, scoţînd în evidenţă legile lor de distribuţie calitativă şi cantitativă şi migraţiile lor.

Una dintre ramurile sale este ştiinţa zăcămintelor metalifere, sau metalogenia (L. de Launay, 1908), care are ca obiect „studiul legilor care au guvernat distribuirea, asocierea sau separarea elementelor chimice în regiunile abordabile ale scoarţei terestre".

Majoritatea tabelelor actuale dau valori procentuale apropiate ale diferitelor elemente din constituţia scoarţei terestre: oxigen 46,66%; siliciu 27,72%; aluminiu 8,13%; fier 5% etc. ajungînd la conţinuturi infime în cazul anumitor elemente. Unii autori, ca W. Lindgren (1933) şi P. Niggli (1948), calculează aceste proporţii în greutate (în miligrame pe tonă). F. Blondel propune utilizarea logaritmului zecimal al acestei mărimi care reprezintă abundenţa relativă a elementului considerat.

Nu putem termina capitolul asupra geochimiei fără a aminti rolul fotosintezei. Datorită acestui fenomen al asimilării clorofiliene, plantele verzi au reuşit să folosească bioxidul de carbon, păstrînd carbonul şi eliminînd oxigenul, şi au format atmosfera, care iniţial nu conţinea practic aproape deloc oxigen.

În ceea ce priveşte carbonul, el este folosit de plante pentru sintetizarea glucidelor care formează punctul de plecare al materiei organice. După Rabinovitch (1945), fotosinteza participă la producerea a 300 de miliarde de tone de materie organică pe an, care la scară geologică, are o mare importanță. Mari rezerve de cărbune (energie solară fosilă) sînt păstrate în stratele geologice sub formă de cărbuni sau de petrol.

---

[3] În legătură cu acest subiect, vezi studiul lui J. Orcel (pp. 497—499).

Alături de fotosinteză mai trebuie menționate și alte procese ca: fotoreducerea, efectuată de anumite bacterii și alge, sau chimiosinteze efectuate de către bacteriile autotrofe fără clorofilă.

Din cele expuse rezultă importanța rolului geochimiei, adică al științei căreia tratatele moderne de geologie îi acordă un loc important. Prospectarea minieră folosește posibilitățile geochimiei, ca dealtminteri, și cele ale biogeochimiei, prin dozarea anumitor săruri minerale ce se găsesc, fie în roci, fie în țesuturile vegetale ce trăiesc în apropierea zăcămintelor minerale invizibile. Principalele centre de cercetare în acest domeniu se găsesc în U.R.S.S., în Statele Unite, în Canada, în Belgia și în Țările scandinave.

CLASIFICAREA ROCILOR. Clasificarea rocilor constituie unul dintre domeniile cele mai neclare ale geologiei.

Există diferite clasificări bazate pe diverse criterii, fiecare aplicîndu-se cu dificultate la totalitatea grupului de roci studiate; în aceste clasificări intervin observarea, descrierea, analiza chimică și cea microscopică. Actualmente se încearcă edificarea unei clasificări mai puțin artificiale, legată de geneza rocilor și de tipul lor de zăcămînt.

ROCILE ERUPTIVE. Una dintre primele clasificări, cea a lui Fouqué și Michel Lévy (1879), bazată pe compoziția mineralogică și pe textură, rămîne de importanță practică și de aceea foarte folosită. S-a mai propus apoi o clasificare americană, pur chimică (C.I.P.W., 1902), apoi o alta chimico-mineralogică (Tröger, 1930). Clasificarea lui A. Lacroix (1933), bazată pe caracterele chimice, pe compoziția mineralogică și pe textură, este cea mai completă, dar folosirea ei în practică este dificilă și destul de abstractă, deoarece analiza chimică conduce nu numai la definirea mineralelor observabile, ci și la structuri virtuale, rezultate din calcul. Metoda normelor moleculare a lui P. Niggli (1933—36) se bazează pe faptul că mai multe asociații minerale (sau norme) pot conduce la o aceeași compoziție chimică, în timp ce fiecare rocă prezintă o asociație specială (mod) de minerale. În această metodă se regăsesc noțiunile de facies mineral — Eskola (1921), definit prin temperatura și presiunea din zona sa de origine, și de facies petrografic — Shand (1950). H. și G. Termier (1956) au scos în evidență cît de descriptivă a rămas clasificarea rocilor, datorită faptului cu nu conține „nici o referire în ceea ce privește afinitățile reale și geneza rocilor“. Ei insistă asupra faptului că petrografia trebuie să se bazeze pe fenomene naturale, pe geneza rocilor și pe raporturile lor cu evoluția litosferei, ceea ce nu exclude de loc caracterele chimico-mineralogice.

Fără a reveni asupra teoriilor referitoare la formarea rocilor eruptive care au fost menționate mai înainte vom mai aminti că studiile recente de termodinamică a scoarței terestre profunde aduc puncte de vedere noi în acest domeniu (L. Glangeaud, 1956—60) și ipoteze care par a fi verificate de experiențele asupra anatexiei granitice (J. Wyard și G. Sabatier, 1956—59; H.G.F. Winkler, 1957—58).

ROCILE METAMORFICE. Clasificarea rocilor metamorfice a prezentat mult timp dificultăți serioase. Aceste roci care au un loc atît de important au suferit de fapt o recristalizare, o orientare a elementelor și adesea schimburi de materie și o modificare a compoziției lor chimice originale.

Se deosebește un metamorfism de contact, produs prin contactul unei roci eruptive cu roca gazdă, un dinamo-metamorfism, provocat de presiunea fenomenelor tectonice și un metamorfism regional, care profită de căldura și de presiunea din adîncuri.

J. Jung și M. Roques au stabilit un anumit număr de zone, din ce în ce mai calde, explicînd astfel formarea micașisturilor superioare, a micașisturilor inferioare, a gnaisurilor superioare și a gnaisurilor inferioare. Se folosesc în acest caz studiile de termodinamică profundă amintite mai sus.

ROCILE SEDIMENTARE. Petrografia rocilor sedimentare datorește mult cercetărilor lui L. Cayeux, care a publicat între anii 1897 și 1942 importante lucrări asupra rocilor carbonatice și rocilor silicioase, asupra minereurilor de fier și a fosfaților.

Au apărut și s-au dezvoltat noi metode de studiu ale sedimentologiei cuprinzînd morfoscopia, granulometria, studiul mineralelor grele și al minereurilor argiloase. Numeroși geologi și mineralogi din diferite țări au participat la aceste cercetări a căror sinteză este efectuată în tratatul lui Krumbein și Sloss *(Stratigraphy and sedimentation, New York, 1951)*.

În principalele clasificări ale rocilor sedimentare se poate observa o anumită neclaritate în ceea ce privește sensul și importanța criteriilor de grupare, descriptive și genetice, la care se adaugă și analiza chimică (A. Lombard, 1949-56).

Există clasificări calitative, bazate pe criterii descriptive macro- și microscopice, cantitative, bazate pe criterii chimice și granulometrice. Dar amănuntul nu are valoare decît considerat în ansablul, în mediul său genetic, adică într-un depozit geologic natural. În ceea ce privește criteriile descriptiv-genetice, acestea trebuie să poată fi aplicate la roci din orice faciesuri, din orice medii și de orice vîrstă. La acestea se vor adăuga criterii ajutătoare cum ar fi: compoziția chimică, structura microscopică, textura și o serie de date stratigrafice, tectonice și cronologice.

Autorul tinde spre o clasificare mai ales genetică, controlată de observarea fenomenelor actuale care permite reconstituirea diferitelor arii mari ale vechilor zone de sedimentare. Astfel, este afirmată legătura sedimentologiei actuale cu oceanografia și cu petrografia rocilor sedimentare.

H. Erhart a insistat destul de recent (1956) asupra rolului pedogenezei care, prin legătura cu dezvoltarea pădurilor, ar explica în întregime sedimentarea continentală și marină. Această nouă teorie, bazată pe rolul „echilibrelor“ și al „întreruperii echilibrelor“ biologice din cursul erelor geologice, merită un loc în aceste încercări de clasificare geologică.

PALEONTOLOGIA ȘI STRATIGRAFIA. La începutul secolului al XX-lea paleontologia și stratigrafia au ajuns la un nivel înalt de dezvoltare. În timp ce paleontologia vertebratelor va cunoaşte un avînt deosebit[4], se va confirma importanţa nevertebratelor, iar studiul fosilelor lor va deveni baza însăşi a stratigrafiei.

Toate grupurile mari au fost revizuite în toate ţările lumii, şi au apărut numeroase monografii care au completat din plin ceea ce se ştia deja. În secolul al XX-lea începe într-adevăr studiul microfosilelor: al microforaminiferelor, al flagelatelor, al conodontelor, al sporilor şi polenului. Afară de interesul lor intrinsec, aceste microfosile sînt necesare în stabilirea stratigrafiei în cazul absenţei fosilelor mari şi în special în cazul carotelor de sondă.

Progresele paleobotanicii au fost, de asemenea, considerabile (vezi p. 785). Printre trecerile în revistă mai importante, vom cita pe cele ale lui A. Seward (1933), H. Potonié şi W. Gothan (1921), W.C. Darrah (1939), L. Emberger (1944), ca şi *Traité de paléobotanique* a cărui publicare se efectuează sub direcţia lui E. Boureau.

Bazîndu-se pe o foarte bună cunoaştere a fosilelor animale şi vegetale, stratigrafia s-a perfecţionat fără încetare şi s-a îmbogăţit cu date de sedimentologie, paleoecologie, de paleotemperaturi etc.

GEOCRONOLOGIA ŞI RADIOACTIVITATEA. După primele teorii formulate de geologii din secolul al XIX-lea, descoperirea radioactivităţii (1896) avea să facă din geocronologie o ştiinţă precisă. Se ştie că substanţele radioactive dau naştere prin dezintegrare unor noi elemente, iar procentul de atomi care se transformă în unitatea de timp este constant. Noţiunea de durată de viaţă sau perioadă radioactivă, schiţată de P. Curie, în 1902, a fost precizată de Rutherford care a propus ca etalon durata de viaţă a radiului: 1590 ani (timp necesar pentru ca *jumătate* dintre atomi să se dezintegreze).

Există unele elemente radioactive a căror dezintegrare conduce, alături de producerea de heliu (radiaţii α), la producerea unor izotopi ai plumbului natural iniţial (^{204}Pb), şi aceasta în proporţii determinate, într-un timp dat. Proporţia diverşilor izotopi conţinuţi într-o probă dată de plumb permite calcularea vîrstei; degajarea de heliu poate fi, de asemenea, măsurată ca şi uraniul remanent. Astfel, un minereu de plumb din Africa de Sud, care conţine 12,65% ^{206}Pb; 14,27% ^{207}Pb şi 32,78% ^{208}Pb are o vîrstă de 3 miliarde de ani (datată cu eroare posibilă de 10%). Această metodă, elaborată în special de A. Holmes (1937), F.E. Wickman (1939) etc., ca şi cele ale stronţiu-rubidiului (Ahrens, 1948), ale heliului etc., permit nu numai datarea rocii, ci şi a mineralului. În cazul unui filon, roca gazdă este în mod obligatoriu mai veche.

Această nouă metodă de calcul permite determinarea epocii de solidificare a globului terestru acum aproximativ 5 miliarde de ani. Începutul perioadei cambriene care este considerat drept baza erei primare putînd fi stabilit la 600 milioane ani, timpurile „precambriene“ prin urmare devin deosebit de importante; în cadrul lor, s-au descoperit urme ale unor lanţuri muntoase extraordinar de dezvoltate, mărturii ale unor cicluri orogenetice multiple încă dificil de urmărit şi de izolat.

---

[4] Vezi studiul lui J. Piveteau (pp. 731–742). Progresele paleontologiei nevertebratelor sînt schiţate de A. Tétry (pp. 677–680); iar cele ale paleobotanicii de către J.F. Leroy (pp. 785–786).

Aceeaşi metodă se aplică cu succes şi la erele geologice mai recente — Primară, Secundară, Terţiară — şi asigură un nou avînt datelor stratigrafiei şi tectonicii. Ultimele 15—20 milenii beneficiază de metoda radiocarbonului, aplicată de W.F. Libby după 1949.

Radiaţiile cosmice provoacă transmutaţia azotului atmosferic în carbon 14, a cărui combinaţie cu oxigenul formează o mică proporţie din bioxidul de carbon din aer, absorbit de organisme. În cursul morţii lor, carbonul 14 se dezintegrează furnizînd azot şi radiaţii β cu o perioadă de 5760 de ani. Măsurarea conţinutului în carbon 14 al unei substanţe organice relativ recentă (lemn, cochilii etc.) permite datarea acesteia.

Această metodă este astăzi folosită curent în arheologie şi în geologia cuaternarului recent.

TECTONICA. Tectonica, ramură specială a geologiei, care se ocupă cu studiul arhitecturii scoarţei terestre, al deformărilor sale şi al genezei acestora, a cunoscut un deosebit avînt în secolul al XX-lea.

Cutările şi ridicările scoarţei, au ca rezultat formarea lanţurilor de munţi, sînt martorii unor tulburări extraordinare ce au condus la ideea de cataclism şi de catastrofe bruşte.

Luîndu-se în considerare fenomenele tectonice actuale şi privind desfăşurarea lor la scară geologică, s-a constatat, de pildă, că cutremurele de pămînt provoacă fracturi, deplasări verticale şi tangenţiale şi că multe regiuni de pe glob manifestă o activitate de ridicare sau de coborîre observabilă la scară umană; vulcanismul apare, de asemenea, ca un fenomen al tuturor timpurilor.

În ceea ce priveşte munţii (a căror eroziune ne descoperă structura interioară) este necesară asigurarea analizei succesive stratigrafice şi geometrice. Ultima operaţiune nu se mărgineşte numai la descrierea formei cutelor, ci are în vedere şi reconstituirea stării iniţiale, studiindu-se dinamica, geneza şi evoluţia, ceea ce necesită şi o anumită imaginaţie, sprijinită temeinic pe datele stratigrafice şi pe principiile mecanicii solidelor deformabile.

Se consideră astăzi că apariţia lanţurilor muntoase nu constituie un accident în viaţa Pămîntului, ci o manifestare ciclică cunoscută din primele timpuri ale istoriei scoarţei pămîntului. Examinarea zonei profunde a lanţurilor succesive conduce totdeauna la aceleaşi probleme de petrografie, de geofizică şi de termodinamică. Cercetătorul se găseşte în prezenţa unor manifestări permanente, dar extrem de lente (de ordinul unui milimetru sau uneori a unui centimetru pe an), punînd în evidenţă un fel de pulsare internă a globului. Istoria completă a unui lanţ muntos evoluează de-a lungul a zeci de milioane de ani. Stratigrafia reconstituie condiţiile sedimentării şi determină vîrsta relativă a mişcărilor după prezenţa discordanţelor sau după caracterul mai detritic al sedimentelor.

Faptul că aceste sedimente s-au depus de obicei într-o zonă oceanică puţin adîncă implică existenţa unor fose pe cale de scufundare şi a unor zone de subsidenţă (O. Pruvost, 1930). Unele dintre aceste fose au primit denumirea de „geosinclinale“ (noţiunea se datoreşte lui James Hall, 1859, iar denumirea a fost dată de J.D. Dana, 1873), dar au urmat interpretări foarte diferite şi adesea contradictorii pentru definirea ei. J. Aubouin (1961) consideră geosinclinalul drept un ansamblu mobil de zone coborîte şi de zone ridicate, la care se adaugă un magmatism simatic special.

Cum se poate explica faptul că sedimente cu o grosime de 10—12 km, ca cele care au participat la edificarea Alpilor, sau a Himalayei, au putut urca din aceste fose geosinclinale? Numeroşi geologi au căutat să pătrundă cauzele acestor forţe. Se pare că sedimentele antrenate din profunzime ajung în zone de metamorfism general şi de metasomatism, unde modificate de presiune şi de temperatură sînt cutate şi apoi ridicate la suprafaţă şi chiar mult deasupra, prin mişcări, mai ales, verticale. Neputîndu-se cuta, vechiul soclu profund, granitizat sau gneisificat se poate fractura şi ridica, împingînd cuvertura sedimentară rămasă suplă. Se distinge deci o tectonică profundă şi o tectonică de cuvertură.

Exondarea masivelor muntoase este urmată de o eroziune foarte activă, de alunecări şi de noi cutări. Alunecările pot avea o mare importanţă; „pînzele de şariaj“, rămase inexplicabile mult timp, ar rezulta dintr-o curgere sub acţiunea gravitaţiei pe un substrat alunecător, de tipul argilelor gipsifere din Triasic (teoria lui Schardt, 1893, adoptată frecvent în zilele noastre).

Aceste diverse evenimente (subsidenţă, cutare, ridicare) necesită o forţă motrice pe măsura lor. Conform ipotezei „contracţiei“, au apărut noi ipoteze: deriva continentelor, curenţii de convecţie şi metamorfismul generator de cutări.

DERIVA CONTINENTELOR. Bazată pe noţiunea de izostazie şi apoi pe ideea de deplasare orizontală a continentelor (G.J. Taylor, 1910), această teorie a fost dezvoltată în anul 1911 de geofizicianul german A. Wegener. Ea presupune că toate continentele au format un singur bloc de uscat în Precambrian, apoi, ulterior, în decursul timpurilor acest continent unic s-a fracturat, iar fragmentele sale formate din *sial* uşor au pornit în derivă, plutind pe *sima*, mai densă şi vîscoasă. Deplasîndu-se, continentele au împins sedimentele din calea lor, provocînd cutări şi generînd munţii. În ceea ce priveşte modificările climatice, acestea ar rezulta din deplasarea polilor şi a continentelor.

Această ipoteză considerată seducătoare pentru biologi nu a fost adoptată de geologi şi de geofizicieni, ca atare, pentru numeroase motive. În primul rînd, în special, datorită faptului că nici un fenomen analog derivei nu a putut fi detectat în prezent. De asemenea, Wegener nu indica nici o cauză dinamică, iar singura forţă de deplasare cunoscută, împingerea spre ecuator datorită rotaţiei Pămîntului, este insuficientă.

CURENŢII DE CONVECŢIE. Expusă de americanul D. Griggs (1939) pentru a explica coborîrea foselor de sedimentare şi natura intermitentă a fenomenelor orogenice, teoria curenţilor de convecţie se bazează pe posibilitatea mişcărilor magmatice foarte profunde, pe existenţa unor curenţi de convecţie infracrustali datoraţi unor diferenţe de temperatură între masele continentale şi cele suboceanice. Deoarece convecţia termică, difuzia chimică şi radioactivitatea pot modifica efectiv energia disponibilă (J. Goguel), *sialul* ar fi antrenat spre şanţuri de subsidenţă geosinclinală cu o viteză de cîţiva centimetri pe an. Astfel de mişcări lente pot avea loc sub discontinuitatea Mohorovičić, chiar pînă la adîncimi de 2000 km. Existenţa unor focare seismice profunde (700 km) dovedeşte, de altfel, că aceste zone nu sînt inerte.

Această ipoteză a fost adoptată de geofizicianul olandez Vening Meinesz pentru a explica anomaliile gravitaţiei în arhipelagul Indoneziei şi din Antile. Variaţiile prevăzute ar determina apariţia unor cicluri active de cîte 25 milioane de ani, separate prin lungi perioade de repaus.

METAMORFISMUL GENERATOR DE CUTĂRI. Sedimentele antrenate la fundul şanţurilor de subsidenţă sînt transformate prin metamorfozare. Geologul şi inginerul francez René Perrin a prezentat în 1934 o teorie nouă care susţine că metamorfismul nu este generat de fenomenul de cutare, el fiind chiar agentul său fundamental.

Împreună cu M. Roubault, R. Perrin explică formarea granitului şi granitizarea prin fenomene de difuzie în stare solidă, ale căror tipuri au fost puse parţial în evidenţă experimental[5]. El admite, de fapt, că astfel de reacţii care au loc în zona de fund a foselor geosinclinale, determină dilatări şi exercită presiuni enorme care sînt suficiente pentru a provoca cutările.

Este verosimilă concluzia că nici una dintre aceste ipoteze nu corespunde realităţii, dar că fiecare dintre ele conţine o parte de adevăr. O încercare de sinteză realizată de P. Dive (1933) combină teoria lui Wegener cu cea a curenţilor intratelurici.

Aceste studii de tectonică au fost efectuate în diverse ţări, dar şcoala franceză a fost deosebit de activă şi numeroşii săi reprezentanţi continuă să reprezinte în mod strălucit această ştiinţă. Amintim, de asemenea, că după evoluţia orogenică, s-a creat embriotectonica; datorită ei, L. Moret a putut reconstitui istoricul Alpilor francezi (1933 şi 1961).

PALEOGEOGRAFIA ŞI BIOGEOGRAFIA. Munca asiduă a geologilor de diverse specialităţi a permis reconstituirea vechilor configuraţii ale continentelor şi oceanelor, evoluţia acestora şi, legate de ele, a faunelor şi florelor. Cercetarea sedimentelor furnizează indicaţii asupra genezei acestora, asupra adîncimii oceanelor, precum şi în legătură cu evoluţia paleotemperaturilor. Depăşind etapa cataloagelor sistematice, studiul fosilelor a reuşit să reconstituie asociaţiile faunistice şi floristice ale paleoecologiei.

Treptat au fost definite zonele continentale şi zonele oceanice, evoluţia şi migraţiile florelor şi faunelor şi s-au trasat hărţile paleogeografice care înfăţişează situaţia globului terestru la anumite epoci geologice.

Aceste hărţi sînt, fără îndoială, imperfecte deoarece, datorită eroziunii, aflorimentele actuale au o întindere adesea foarte diferită de cea a mării care a furnizat aceste depozite. Mai mult chiar, fiecare hartă se referă la o perioadă prea lungă faţă de mobilitatea permanentă a scoarţei terestre. Cuaternarul singur, cu vîrsta sa de un milion de ani, cu transgresiunile și regresiunile marine, cu dezvoltarea ghețarilor, cu marile fracturi, ar necesita patru hărți. Ce să mai spunem atunci de cei 600 de milioane de ani care au trecut din Cambrian, reprezentați, în cel mai fericit caz, pe vreo 20 de hărți!

---

[5] Vezi şi studiul lui V. Orcel (p. 499).

În ciuda impreciziei lor, aceste hărți, cum sînt cele publicate de Societatea de Biogeografie din Paris sau cele din *Atlas de paléobiogéographie* ale lui L. Joleaud, permit înțelegerea comunicațiilor intercontinentale și interoceanice, scoțînd în evidență anumite elemente permanente sau temporare de o importanță primordială.

Se disting astfel cîteva scuturi continentale: Scandinavia, Canada, Africa, Brazilia și Guyanele, India peninsulară, Antarctida, care s-au consolidat și au apărut de la sfîrșitul Precambrianului. Fiecare dintre acestea, ale căror țărmuri au fost mai mult sau mai puțin invadate de transgresiuni marine, a păstrat totdeauna o regiune complet neacoperită. Compararea florelor și faunelor diferitelor scuturi confirmă faptul că în anumite epoci existau între ele posibilități de comunicare de diverse tipuri. Astfel, unele istmuri au reprezentat „punți“ permanente sau temporare, ca istmul Behring (care este, provizoriu, o strîmtoare puțin adîncă) care a permis o comunicație terestră ușoară între America de Nord și Eurasia într-o anumită perioadă a Terțiarului și a Cuaternarului, acest fapt fiind confirmat de asemănarea faunelor. În ceea ce privește istmul Panama, s-a stabilit că el s-a manifestat de cel puțin două ori, iar dispariția sa pe un timp limitat în Terțiar explică izolarea și evoluția deosebită a faunei sud-americane.

Asemănarea vechilor faune și flore necesită însă și alte legături și alte „punți“. Astfel, florele cu *Glossopteris* din Australia, Africa de Sud, America de Sud, Antarctida și India peninsulară presupun existența unor legături între aceste scuturi, situate toate la sudul Mării Mediterane din timpul Mezozoicului și Terțiarului — Marea Tethys. De aici a apărut ideea existenței unui continent imens, caracterizat printr-o floră și faună specifică (din Carbonifer pînă în Permian), denumit „Gondwana“, care nu avea nici o legătură cu Eurasia. În realitate, descoperirea rămășițelor lanțului muntos hercinic nord-sud a permis explicarea tuturor faptelor observate (R. Furon, J. Millot) și dovedirea faptului că „Gondwana“ nu a existat niciodată sub această formă. Unii biologi au încercat să explice faptele paleontologice prin teoria derivei continentelor, dar imposibilitatea acestei interpretări a fost ușor demonstrată.

Studiul evoluției faunelor și florelor de-a lungul istoriei geologice, din Cuaternar pînă astăzi, constituie un domeniu al biogeografiei. Această știință nu își pune în valoare toate posibilitățile sale decît dacă se încearcă să se înțeleagă cauzele distribuției actuale a faunei și florei terestre, urmărindu-se hărțile paleogeografice și paleobiogeografice și printr-o analiză a resturilor fosile ale animalelor și plantelor care au evoluat în regiunile respective în decursul timpurilor geologice.

Va ieși în evidență cu această ocazie rolul preponderent al glaciațiilor cuaternare în ceea ce privește distribuția faunelor și florelor temperate actuale, deoarece aceste glaciații au condus la o serie de evadări și dispariții ale unor specii, de migrații totale, urmate de reveniri incomplete. Pentru a înțelege repartiția actuală a vieții vegetale și animale este necesară urmărirea din Terțiar, mai ales, a tuturor consecințelor evoluției climei ceea ce reprezintă o muncă pasionantă și care dovedește cît de mult depinde prezentul de trecutul reconstituit, cu răbdare, pe baza studiilor de paleoecologie.

HARTA GEOLOGICĂ A GLOBULUI ŞI DICŢIONARUL STRATIGRAFIC INTERNAŢIONAL. Încercările efectuate în secolul al XIX-lea de a construi harta geologică a Pămîntului erau premature deoarece 3/4 din suprafaţa continentelor era necunoscută. În urma apariţiei unor noi metode de cercetare şi a unor noi posibilităţi de transport, precum şi sub presiunea intereselor economice, majoritatea ţărilor lumii au creat Servicii geologice. Lucrările de prospectare a minereurilor strategice şi a petrolului au contribuit mult la cunoaşterea geologică a globului. Astfel, în ţări ca Arabia Saudită, Irak sau Liberia, asemenea echipe de prospectare au efectuat studii geologice.

Chiar ţări care erau considerate a fi bine cunoscute din punct de vedere geologic, ca Franţa, şi-au perfecţionat considerabil studiile geologice în cursul secolului al XX-lea, atît prin observaţii de suprafaţă, cît şi prin foraje profunde. Aceeaşi situaţie o reîntîlnim peste tot în Europa ca şi pe celelalte continente, a căror geologie a putut fi reprezentată prin lucrări de ansamblu şi de hărţi. Una dintre cele mai remarcabile realizări a constituit-o publicarea, în anul 1952, a *Hărţii geologice internaţionale a Africii*, la scara 1/5 000 000 în 9 planşe, urmată de o Hartă structurală (1958). Ideea editării unei hărţi geologice internaţionale a Pămîntului, la scara 1/5 000 000, a fost reluată destul de recent.

În cadrul congreselor geologice internaţionale a fost subliniată necesitatea publicării unui *Dicţionar stratigrafic internaţional*, care să explice toţi termenii folosiţi în diferite ţări din primele momente ale apariţiei geologiei. Realizată cu concursul tuturor Serviciilor geologice din lume, această excepţională lucrare este publicată la Paris sub conducerea lui J. Roger şi a C.N.R.S.-ului, începînd din anul 1958.

Studiul geologic al zonelor oceanice, care reprezintă aproape 3/4 din suprafaţa globului terestru, a început cu cercetarea insulelor şi a platformei continentale, cercetarea marilor adîncimi oceanice fiind deocamdată la început. Dacă în privinţa grosimii şi naturii depozitelor cuaternare şi poate chiar terţiare am putut fi edificaţi prin foraje, în privinţa naturii fundului oceanelor doar geofizica este aceea care poate face unele presupuneri: *sial* sub Atlanticul de est şi *sima* sub Atlanticul de vest şi sub Pacific[6].

VIAŢA PĂMÎNTULUI. Studiul fenomenelor actuale a permis înţelegerea unora dintre evenimentele care au avut loc în trecutul geologic. Studiile geologice permit la rîndul lor, într-o anumită măsură, interpretarea vieţii actuale a Pămîntului, datorită introducerii noţiunii de *timp*.

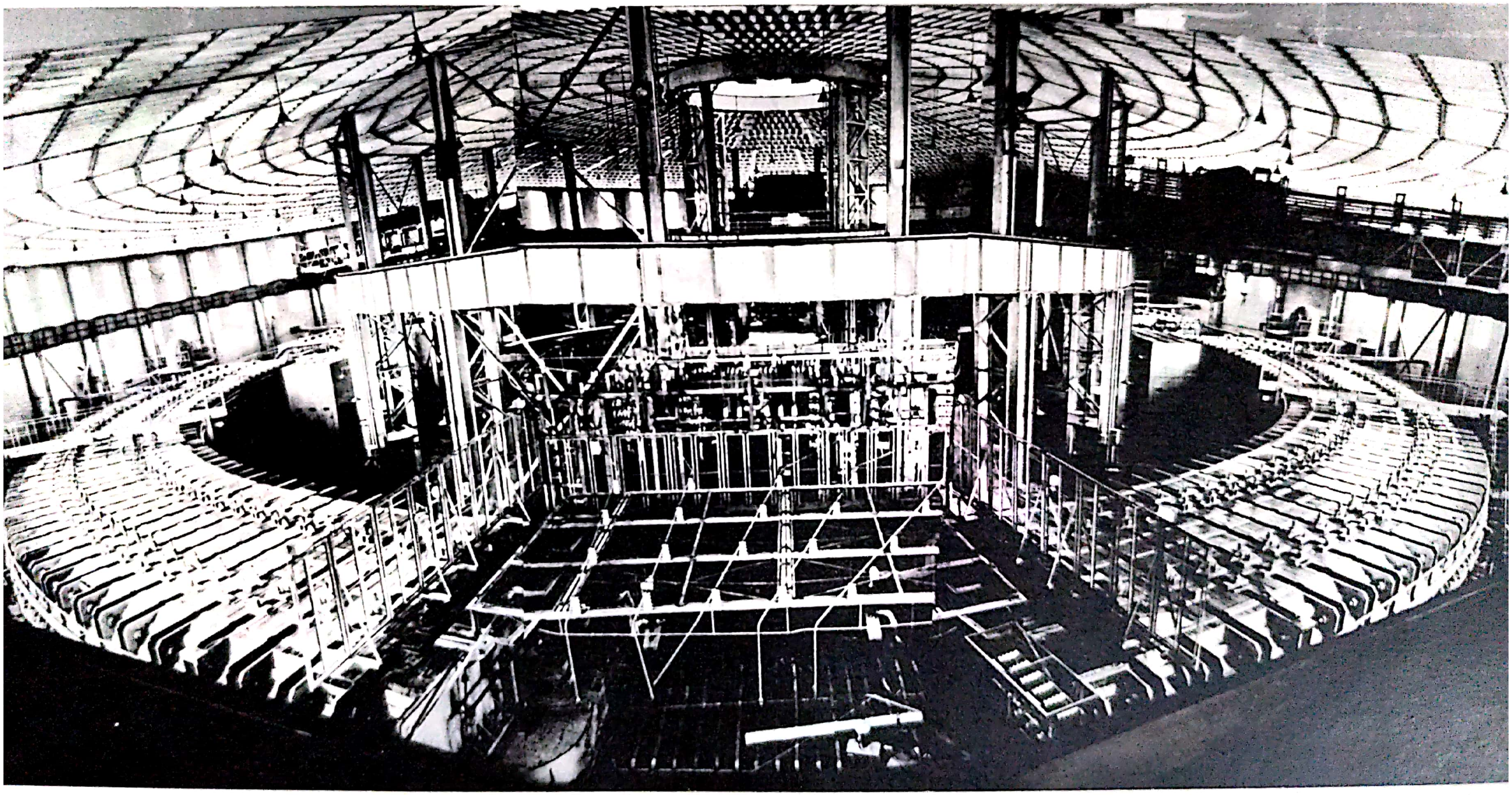
Fenomenele de sedimentare şi de eroziune, vulcanismul, cutremurele de pămînt au demult un loc bine determinat în tratatele de geologie sau de geografie fizică, în timp ce tectonica pare a nu prezenta interes pentru studiul epocii actuale. Dar studiile de geofizică, descoperirea unor focare seismice profunde, stabilirea hărţilor de anomalii ale gravitaţiei şi noţiunea de izostazie, au dovedit că există o tectonică vie a deformaţiilor terestre actuale.

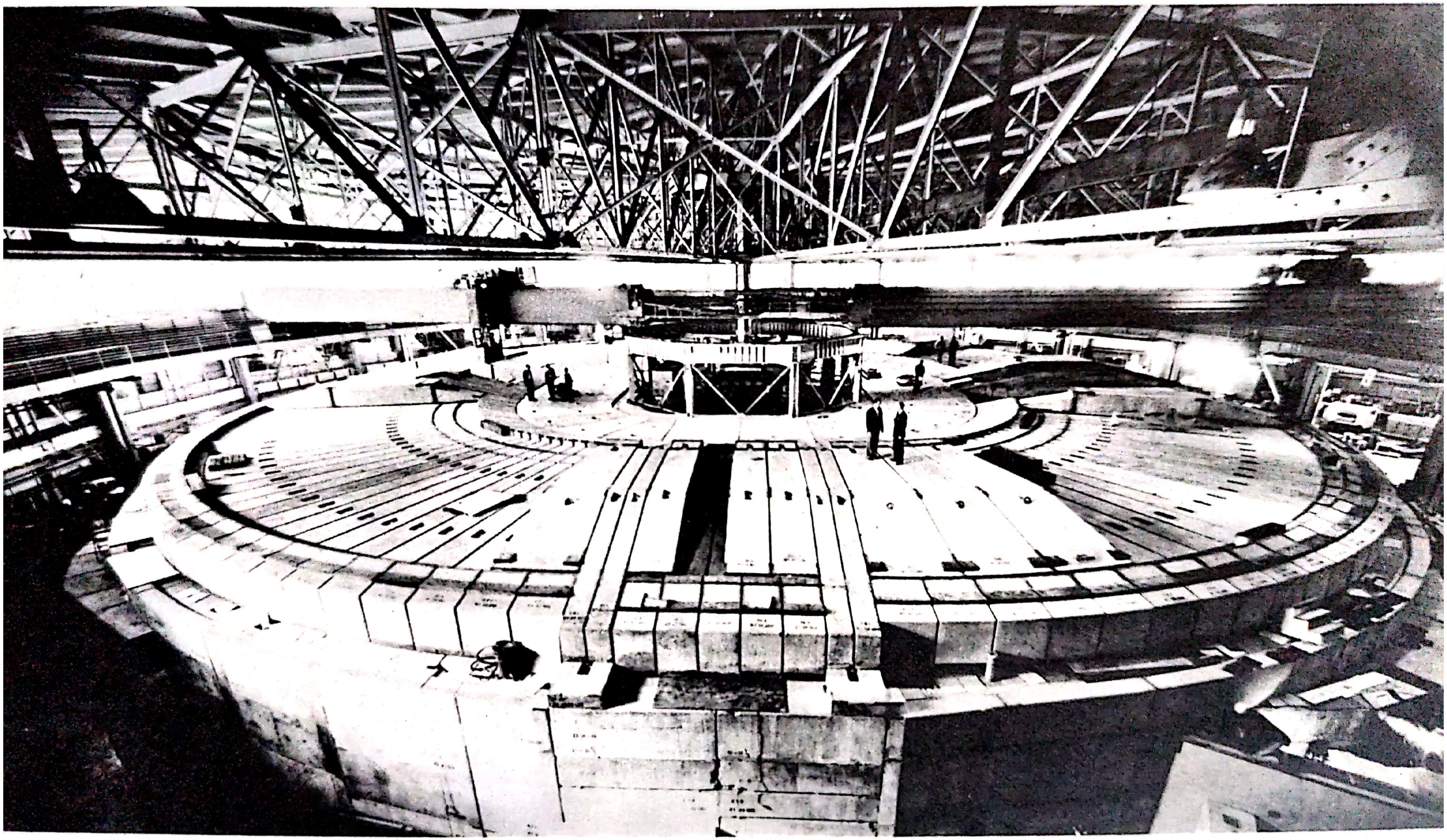
S-au observat deplasări rapide de teren în cursul unor cutremure puternice de pămînt, cum este cel care a distrus oraşul San Francisco la 18 aprilie 1906. De aseme-

---

[6] Azi dispunem de date suficiente pentru a aprecia caracterul predominant simatic „crustă oceanică“ al fundului oceanelor (vezi A. Holmes, 1969). — *N.r.*

25. SINCROFAZOTRONUL INSTITUTULUI DE CERCETĂRI NUCLEARE DE LA DUBNA

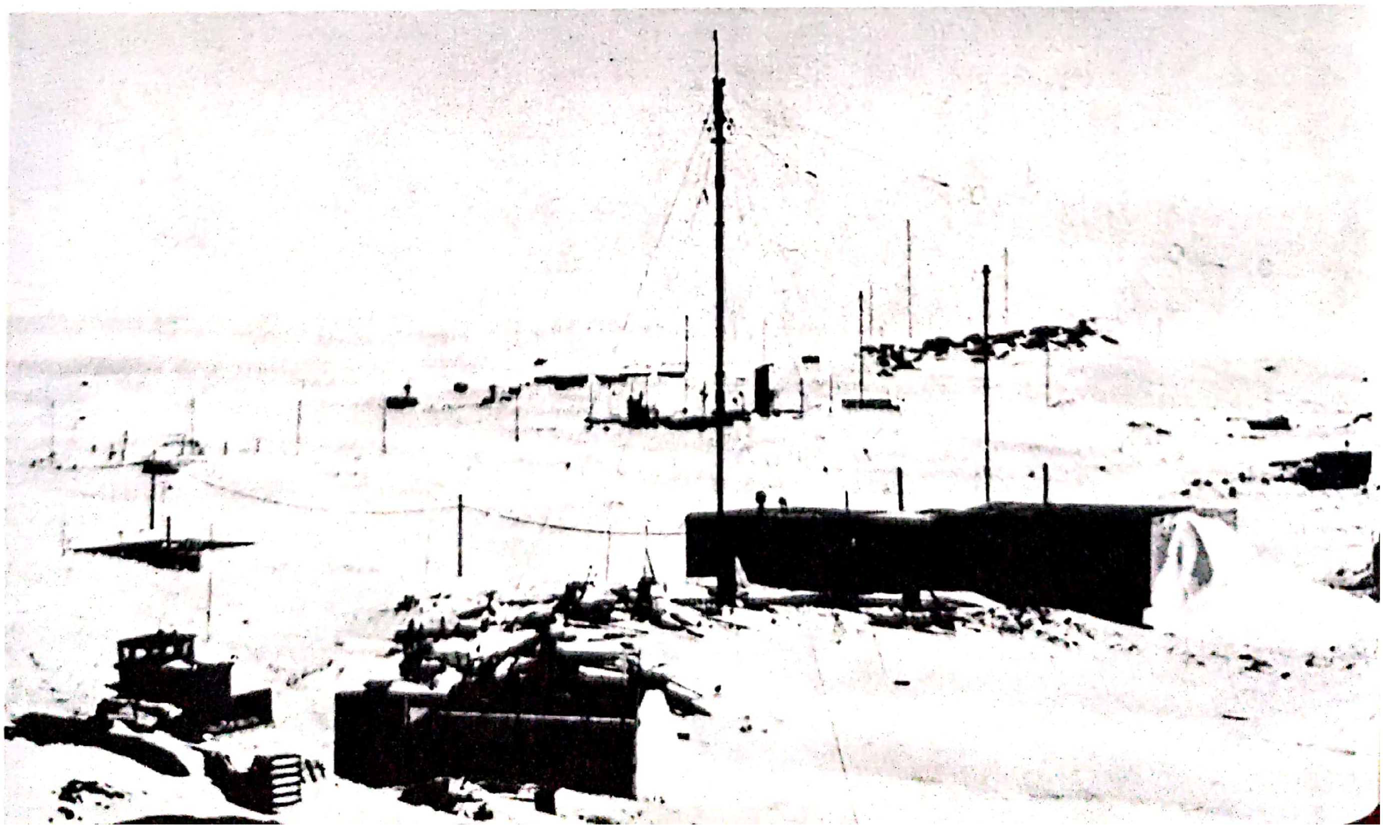




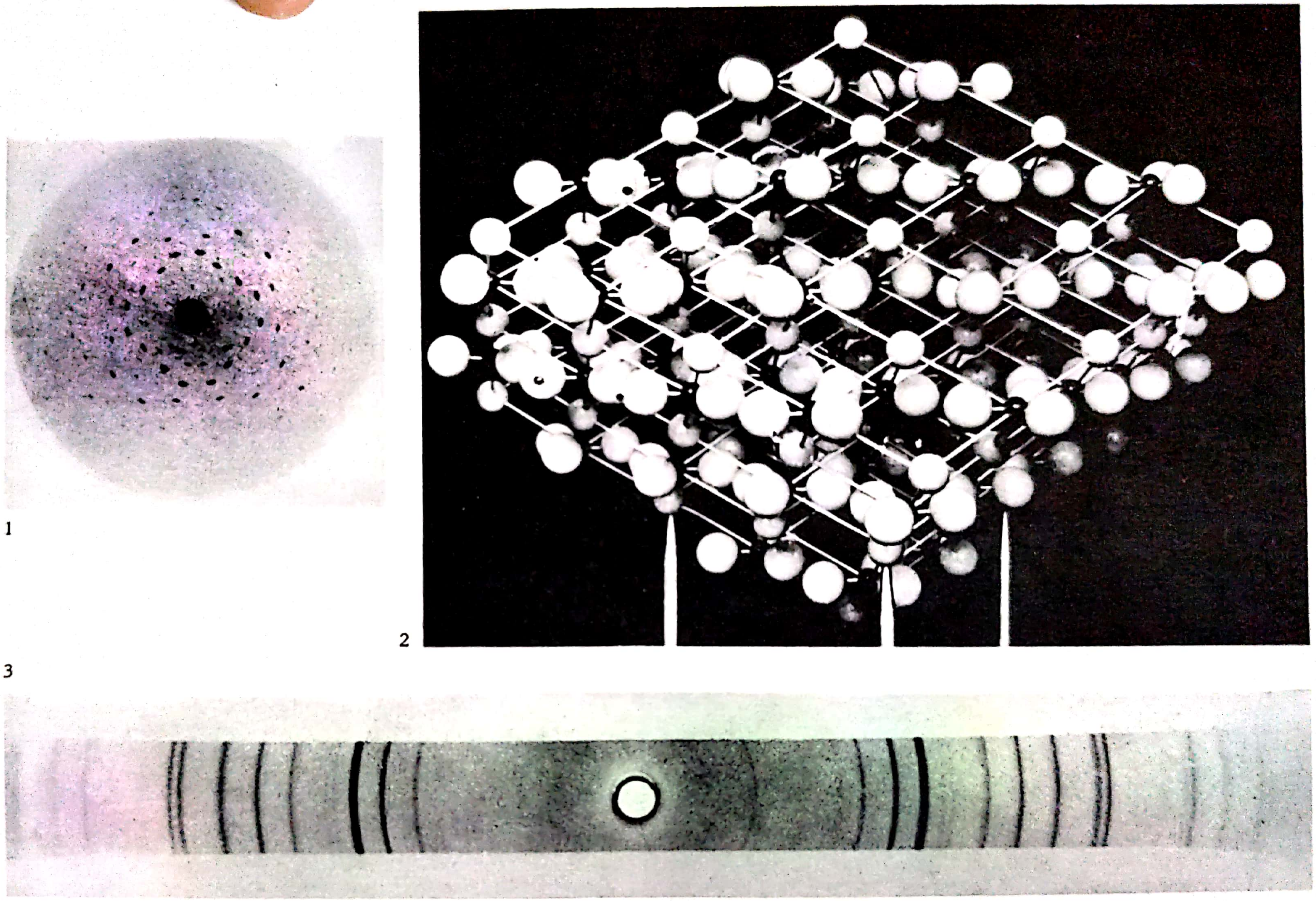
26. BEVATRONUL UNIVERSITĂȚII DIN BERKELEY

27. MĂSURĂTORI METEOROLOGICE LA STAȚIA ANTARCTICĂ FRANCEZĂ «CHARCOT»

28. EXPEDIȚIE SOVIETICĂ LA POLUL NORD (1937).
STAȚIA ANTARCTICĂ SOVIETICĂ «MIRNÎI»



29. FOTOGRAFII METEOROLOGICE ŞI GEOGRAFICE TRANSMISE DE SATELIŢII «TIROS»



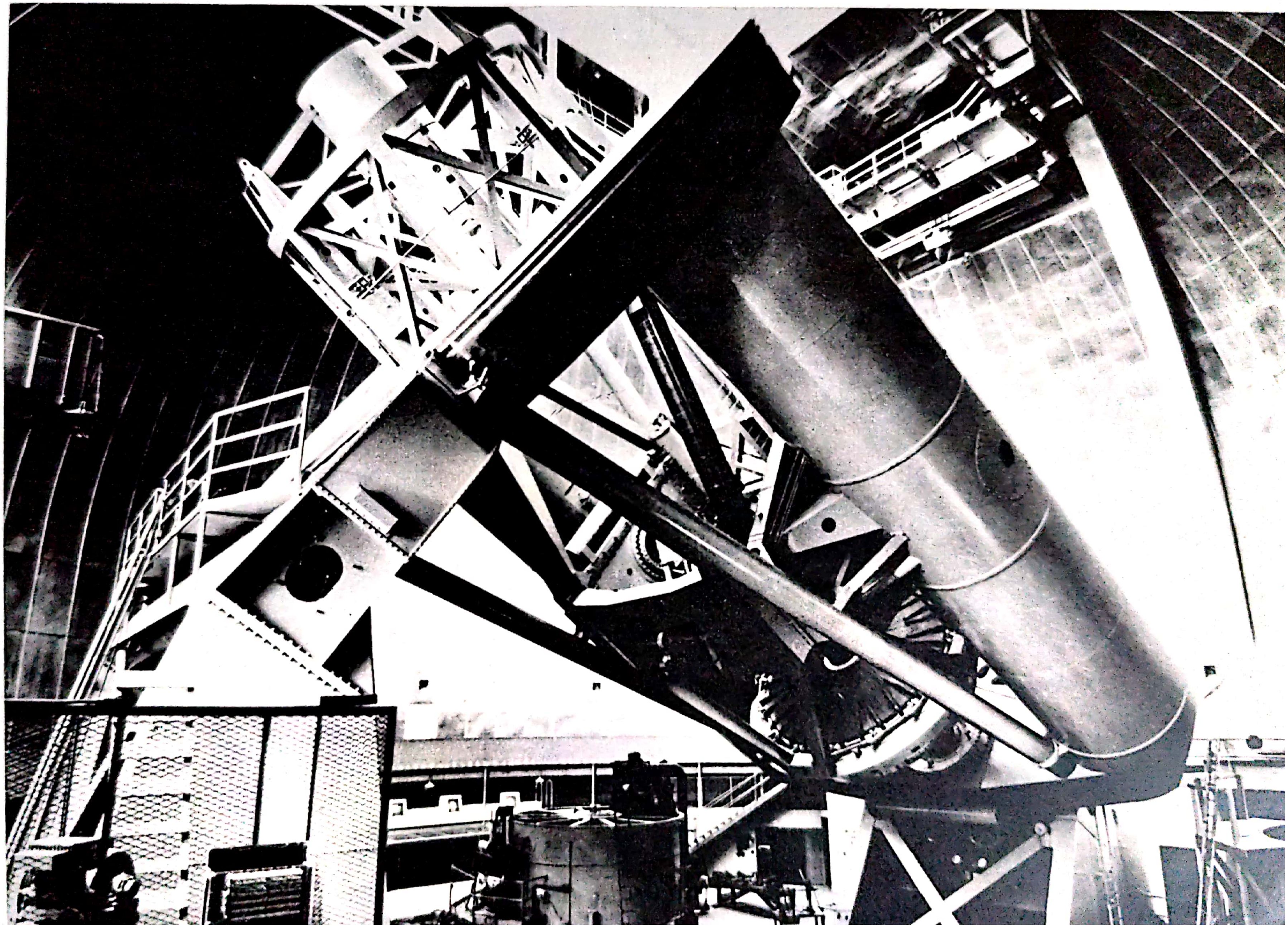
1

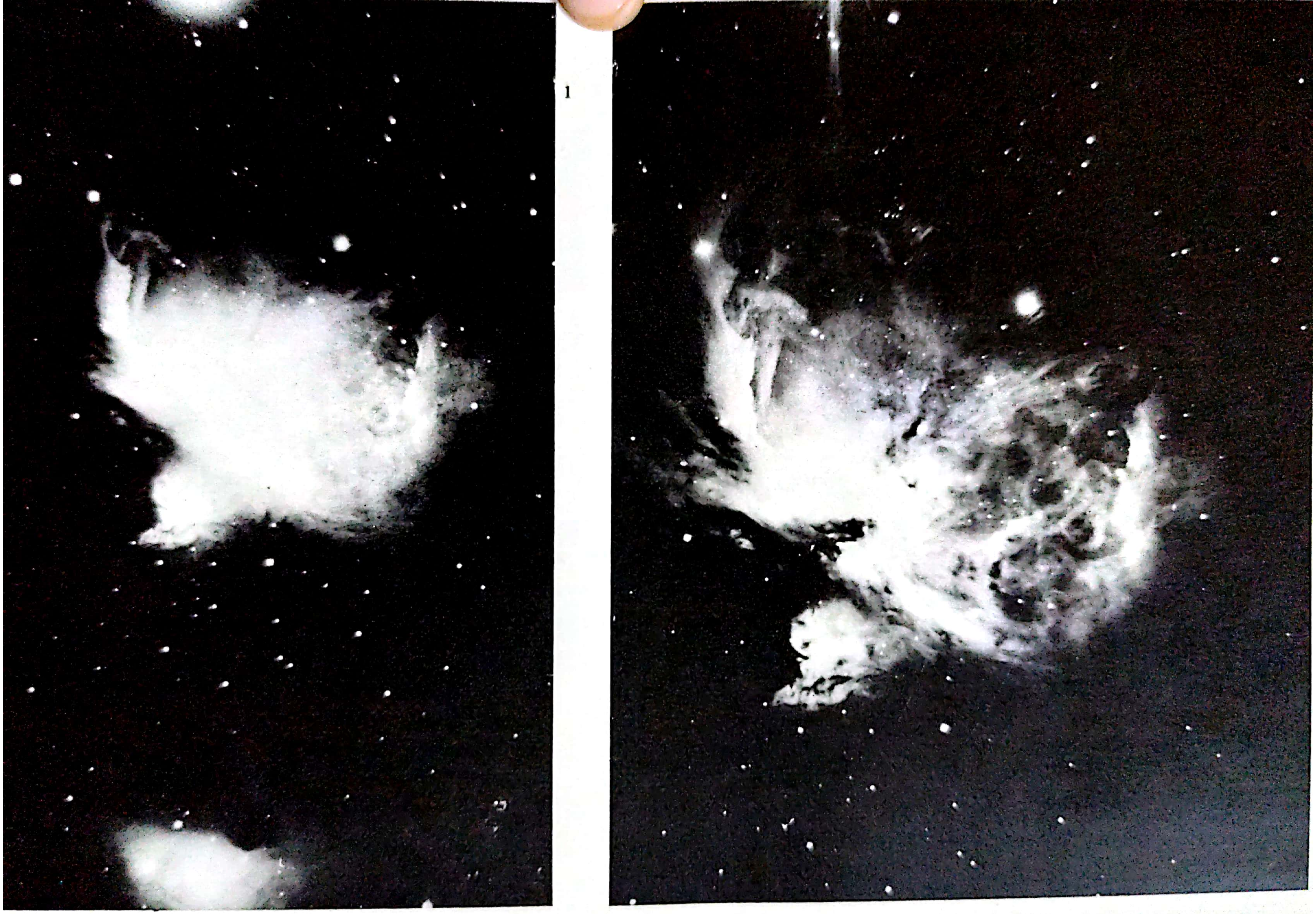
2

3

30. RADIOCRISTALOGRAFIA ŞI STRUCTURA ATOMICĂ

31. MARELE TELESCOP DE LA MOUNT-PALOMAR





32. MAREA NEBULOASĂ ORION OBSERVATĂ PRIN TELESCOAPE CU DIAMETRE DIFERITE

nea, în anul 1923 s-au observat ridicări bruşte ale coastei golfului Sagami (Japonia). Se cunosc, de asemenea, alunecări de teren atît pe uscat cît şi în mediu submarin.

Alături de aceste mişcări bruşte se cunosc şi mişcări foarte lente. Astfel, scutul scandinav, eliberat de greutatea calotei de gheaţă cuaternare, s-a „ridicat“ cu 250 m, această mişcare continuînd cu o viteză de 1 cm pe an, aşa cum s-a observat prin măsurătorile efectuate la Ulfö, în golful Botnic.

Astăzi se ştie sigur că ridicarea lanţurilor muntoase se face foarte lent. În Indonezia, care este o zonă afectată de cutări terţiare şi actuale, recifii coraligeni au fost ridicaţi într-un milion de ani, de la 400 la 1300 m, ceea ce corespunde unei viteze de aproximativ un milimetru pe an. Diverse alte observaţii care concordă cu cele de mai sus dovedesc că arcurile insulare indoneziene sînt în curs de cutare şi că fosele actuale se vor ridica deasupra apelor în următoarele 20 de milioane de ani.

Studiul sedimentării actuale dovedeşte de asemenea marele rol al organismelor vii cărora li se datoresc enorme grosimi de roci sedimentare, în special calcaroase şi anumite roci de un interes industrial considerabil, cum sînt cărbunii şi petrolul.

Se poate afirma deci că planeta noastră este încă vie şi continuă să evolueze normal şi lent, cum o face de mai multe miliarde de ani. Noţiunea de timp la scara geologică, este foarte importantă, deoarece ea se leagă de etalonul radioactiv al carbonului 14 pentru perioadele recente şi al altor elemente radioactive pentru cele 5 miliarde de ani ai Pămîntului, permiţîndu-ne urmărirea şi înţelegerea înlănţuirii fenomenelor.

ROLUL GEOLOGIEI ÎN ECONOMIA MODERNĂ. Geologiei i se acordă un rol din ce în ce mai însemnat în economia modernă. Cercetarea fundamentală a găsit aplicaţii imediate, care au adus la rîndul lor materiale preţioase de studiu în laboratoare.

Prospectarea minieră este din ce în ce mai strîns legată de metodele stratigrafiei, ale geofizicii şi ale geochimiei. Acelaşi lucru se poate afirma şi despre cercetarea surselor de energie, cărbunele şi petrolul, fără a uita construirea marilor baraje şi hidrogeologia. În acest mod, s-a stabilit în multe ţări o legătură strînsă între instituţiile de învăţămînt superior specializate şi industrie, în timp ce geologia aplicată este predată sub diversele sale aspecte în toate universităţile.

SENSUL GEOLOGIEI CONTEMPORANE. Geologia, care este prin definiţie o „ştiinţă a naturii“, cuprinde un domeniu extraordinar de vast de cercetare şi devine astfel o ştiinţă de sinteză. Fiind o ştiinţă a Pămîntului, ea are un domeniu cu mult mai întins în timp şi în spaţiu decît cel al botanicii sau al zoologiei.

Studiul vechilor sedimente, care este un fel de oceanografie istorică, tinde să folosească metodele sedimentologiei actuale, transpunîndu-le în trecut. Studiul fenomenelor actuale, care constituie obiectul geografiei fizice, al geologiei dinamice şi al geofizicii, permite înţelegerea genezei şi evoluţiei formelor contemporane de relief: rolul eroziunii şi al sedimentării pe continente şi la limitele blocurilor continentale, vulcanismul etc. Acestor observaţii le urmează explicarea fizică şi apoi cea biologică.

Studiul rocilor eruptive necesită utilizarea analizei chimice, dar nu poate conduce la concluzii rezonabile, decît dacă roca este examinată în funcţie de situaţia sa în natură; petrografia rocilor sedimentare tinde, de asemenea, spre o clasificare genetică. Abordarea genezei rocilor, a evoluţiei lor, a metasomatismului şi metamorfismului, necesită ajutorul termodinamicii şi al geochimiei, în timp ce geofizica furnizează indicaţii asupra constituţiei interne a globului pămîntesc.

Pe căile paleontologiei animale şi vegetale, geologia încearcă să reconstituie aspectul lumii vii în decursul erelor geologice. Această paleobiologie, sau biologie istorică, conduce la studiul originii vieţii pe suprafaţa Pămîntului — care este considerabil de veche, aşa cum rezultă din însăşi natura sedimentelor, vechi de mai multe miliarde de ani — şi la urmărirea evoluţiei acesteia.

Studiul deformărilor scoarţei terestre, care constituie obiectul tectonicii, depinde atît de principiile, cît şi de metodele ştiinţelor fizice (termodinamica, mecanica solidelor deformabile etc.), de studiile de geofizică care înregistrează acţiunea fenomenelor tectonicii actuale. Pe lîngă acestea, radioactivitatea permite determinarea vîrstei Pămîntului, în timp ce metodele cosmografiei şi astrofizicii îl înglobează în sistemul solar şi în univers. Geologia trebuie, prin urmare, să folosească metodele altor ştiinţe, dar rezultatele sale cele mai fecunde provin din observaţii directe şi interpretări. Poate numai din această cauză geologia rămîne o „ştiinţă a naturii“.

Trebuie de remarcat faptul că domeniul său de aplicaţii depăşeşte cu mult domeniul „ştiinţelor Pămîntului“, deoarece furnizează date atît biologiei, cît şi cosmologiei. După cum a remarcat L. Glangeaud, metodele sale sînt extraordinar de dificile, dar cu atît mai eficace, cu cît se aplică simultan „la obiecte ale căror dimensiuni merg de la atom pînă la Cosmos şi de la evenimente a căror durată poate fi de ordinul zilelor pînă la miliarde de ani“.

■

Notă. Dezvoltarea din ultimele două decenii a geologiei, asociată din ce în ce mai strîns cu celelalte geoştiinţe, a căpătat un accentuat caracter contradictoriu în sensul că se constată o specializare tot mai avansată a cercetării, mai ales prin metode interdisciplinare, aplicate unor domenii de graniţă ale geologiei (de exemplu cuplu petrofizică, seismotectonică, paleoecologie etc.), specializare însoţită de o tendinţă de teoretizare a geologiei prin care se încearcă sesizarea legilor generale (deocamdată puse în evidenţă prin anumite „regularităţi“) ale dezvoltării crustei terestre. Specializarea şi teoretizarea geologică presupune astăzi introducerea de analize cantitative rezultate din utilizarea unor domenii speciale ale metodelor matematice (modelări, teoria probabilităţii, construcţii geometrice, nomograme etc.) şi acordarea unei atenţii sporite etajelor structurale adînci ale crustei Pămîntului, încă puţin investigate. Această cercetare interştiinţifică a dus, încă înainte de 1969, la apariţia unui termen nou, geonomia, studiul complex al Pămîntului prin metode geologice, geofizice, geochimice, matematice, mecanice etc.

Începînd cu deceniul al şaselea din veacul nostru, cadrul cercetării în geoştiinţe a fost şi mai mult lărgit prin extinderea lui la sistemul solar, odată cu transformarea Lunii într-un obiect de studiu direct (1969), în cadrul a ceea ce se numeşte selenologie şi la începerea colectării sistematice de date detaliate asupra constituţiei şi structurii planetelor ce gravitează în jurul Soarelui, prin care s-a înjghebat planetologia (termen consacrat la al XXIV-lea Congres Internaţional de Geologie, Montreal, septembrie, 1972, ţinînd seama că numele de astrogeologie, utilizat uneori pînă atunci, este inadecvat etimologic). Astăzi, datele de planetologie sînt considerate ca singurele apte să ofere un număr suficient de informaţii în condiţii variate pentru a încerca să trecem la o teorie geologică a constituţiei şi evoluţiei Pămîntului, suficient argumentată ştiinţific.

Dintre problemele şi rezultatele noi, mai importante, ale acestei agitate etape din dezvoltarea geologiei, menţionăm:

— Demonstrarea ideii că vîrsta planetară a Pămîntului nu depăşeşte 4,5—5 miliarde de ani şi că ea este aceeaşi cu cea a întregului sistem solar în cadrul şi împreună cu care s-a dezvoltat planeta noastră. Acest rezultat remarcabil a fost obţinut prin măsurători coroborate de vîrste radiogenice (metodă introdusă încă din 1937 de A. Holmes) şi paleomagnetice (metodă introdusă de S.K. Runcorn în 1953 şi ale cărei rezultate au fost sintetizate de exemplu de D.H. Tarling, 1971) asupra unei roci terestre, selenare şi meteoriţi prin care s-a constatat că nici un corp cunoscut din sistemul solar nu depăşeşte vîrsta de 3,6—4 miliarde de ani.

— Stabilirea prezenţei de cratere de impact sau de origine vulcanică nu numai pe Lună, dar şi pe alte planete (Marte 1965, Venus 1970, Mercur 1975). Această descoperire obţinută prin rachete Mariner sugerează generalitatea structurilor circulare provocate de lovituri ale meteoriţilor sau de activitatea vulcanilor pe suprafaţa tuturor corpurilor mari din sistemul solar. Ea urmează a fi verificată de viitoarele rachete Mariner (propuse a fi lansate spre Jupiter şi Saturn în 1977), Pioneer 10 care, după ce a cules date asupra lui Jupiter, va trece pe lîngă Uranus în 1979, iar pe lîngă Pluton în 1987 şi de Pioneer 11 care a făcut o voltă în jurul lui Jupiter (decembrie 1974) şi va executa aceeaşi operaţie în jurul lui Saturn în septembrie 1979.

Asemenea elemente noi au atras atenţia asupra modului în care masa planetelor creşte prin acreţiune de meteoriţi şi asupra posibilităţii ca unele structuri uriaşe circulare din scuturile precambriene (de exemplu, ins. Belcher din marginea golfului Hudson; pentru discuţii vezi M.R. Dence, 1972) să constituie astrobleme (cicatricele unor lovituri de meteoriţi uriaşi; R.S. Dietz, 1972).

Elaborarea teoriei plăcilor şi a expansiunii oceanelor, idei promovate de H.H. Hess şi R.D. Dietz în 1960—1962, concretizate apoi prin cercetări efectuate de J.T. Wilson în 1965 (care a separat „falii de transformare" dispuse transversal pe dorsalele medio-oceanice), iar din 1966—1968 de W.J. Morgan, Xavier le Pichon, B. Isacks etc., prin care s-a demonstrat că patul oceanelor se înnoieşte permanent în dreptul dorsalelor oceanice prin adăugarea de roci vulcanice bazice şi că acest pat este împins lateral ca un covor rulant pînă la marginea continentelor unde, fie că se consuma prin subducţie, fie că împing la rîndul lor mai departe o „placă" continentală. S-a dovedit astfel că nicăieri patul oceanelor nu este astăzi mai vechi decît Jurasicul tîrziu (130—135 milioane ani), dar că în istoria geologică mai depărtată a derivei plăcilor continentale au putut să existe şi oceane mai vechi (de exemplu un Atlantic paleozoic vechi în ideea lui J.T. Wilson, 1972), ce s-au închis ulterior fără a mai lăsa vreo urmă detectabilă, decît similitudinea unor structuri geologice vechi pe marginea continentelor actuale. În prezent problema importantă a geologiei este modalitatea de a utiliza teoria expansiunii oceanelor la explicarea evoluţiei structurii interne a continentelor, o problemă însă disputată mult datorită dificultăţii de a încadra structura generală a orogenelor (munţilor cu tectonică de cutare) şi a caracterelor geosinclinalelor din concepţiile clasice în evoluţia zonelor supuse la subducţie în conformitate cu teoria expansiunii oceanelor. Asemenea încercări de a reconstitui istoria catenelor muntoase, mai ales alpine (de exemplu, J.F. Dewey et al. 1973 asupra domeniului Mediteranei şi a munţilor înconjurători), trebuie să facă apel la unităţi mai mici decît „plăcile continentale" denumite „plăci minore" sau „subplăci" (de exemplu domeniul pannonian dintre Carpaţi şi Alpi sau domeniul transilvan dintre ramurile carpatice) separate de zone cu activitate seismică şi vulcanică actuală sau recentă.

— Precizarea caracterului solid al materiei care compune nu numai crusta terestră, dar şi domeniul cel mai aproape de crustă al mantalei superioare, deasupra zonei de astenosferă unde se generează curenţii de convecţie termică ce constituie motorul expansiunii oceanelor. Pentru întreg acest sector solid se foloseşte astăzi noţiunea de litosferă prin care se justifică caracterul rigid al „plăcilor". Totuşi, pentru aplicaţii geologice ale noii teorii trebuie să se ia în considerare că masele continentale nu sînt total rigide, ci se deformează în interior (J. Goguel, 1972). Pe această bază, se consideră astăzi că depresiunile alungite, mărginite de falii (grabenele) sau depresiunile interne şi intermuntoase, sînt zone unde, în domeniul subcrustal, se produc ridicări ale curenţilor de convecţie ce devin apoi divergenţi supunînd scoarţa Pămîntului la întindere.

Cea mai mare parte a informaţiilor de bază asupra teoriilor de mai sus s-au obţinut pe cale geofizică în cadrul unor lucrări de colaborare internaţională (Proiectul Mantalei superioare urmărit între 1960—1970 şi Proiectul internaţional de Geodinamică în studiu între 1971—1978).

— Progresul important în cunoaşterea structurilor geologice regionale şi locale s-a concretizat prin elaborarea unor hărţi tectonice continentale în colaborare internaţională (Harta tectonică a Europei 1962—1964, a Americii de Nord 1963, a Africii 1968, a Eurasiei 1971) pornind de la rezoluţiile celui de al XIX-lea Congres geologic internaţional (Mexic, 1956). În acelaşi sens, au început să fie elaborate hărţi litofaciale, metalogenetice, metalotectonice etc., pe scară larg regională, care sintetizează multitudinea de date geologice şi din alte geoştiinţe şi constituie baza pentru lucrări ulterioare, de importanţă teoretică şi aplicată. Dintre aplicaţiile cele mai remarcabile în acest domeniu se poate considera începerea exploatării petrolului în mod sistematic din platformele continentale submerse la adîncimi de pînă la 200 m.

— Rafinarea avansată a scării geocronologice, atît prin vîrste absolute (pentru care astăzi se preferă termenul de radiogenice), cît şi prin vîrste relative obţinute pe cale geologică pură. Putem cita aici utilizarea datărilor radiogenice pentru scara timpului Precambrian şi fanerozoic (o sinteză importantă a fost publicată în 1965 sub titlul *Phanerozoic time scale* cu prilejul împlinirii a 75 de ani ai prof. Arthur Holmes, care a decedat peste doi ani, cel mai mare specialist în problemele Geologiei fizice din epoca contemporană), folosirea inversiunilor cîmpului paleomagnetic al Pămîntului pentru obţinerea unei noi scări cronologice a planetei noastre (vezi sintezele lui A. Irving, 1964 şi D.W. Collinson et al. 1967), utilizarea ca repere biostratigrafice a unor grupuri de fosile considerate fără importanţă cronologică pînă de curînd (de exemplu grupul globigerinidelor, studiat de W.C. Drooger, 1963, N. Subbotina, 1964—1968, alte microforaminifere de H.M. Bolli, W.H. Blow, 1963—1973 şi a altor grupuri taxonomice cum sînt sporii precambrieni, studiaţi de S.N. Naumova, şi nannoplanctonul — aşa-numitele *Acritarche* — pus în valoare de G. Deflandre, 1956—1962, D. Noel, 1961, E. Martini, 1970, prin care s-a dezvoltat inframicropaleontologia stratigrafică), folosirea microfaciesurilor biologice şi litologice ale rocilor (G. Cuvillier, 1959) atît pentru cronostratigrafie, cît şi pentru reconstituirea condiţiilor de mediu (ceea ce se numeşte paleoecologie, D.V. Ager, 1963), determinarea fosilelor din fragmente prin studiul structurii testului etc.

— Recunoaşterea caracterului regional limitat al ultimelor diviziuni geologice, etajele, pentru Terţiarul nou. În acest sens, este de evidenţiat separarea unor scări noi stratigrafice cum este cea pentru Miocen şi Pliocen în domeniul Paratethysului central (Fr. Steininger, J. Senes, J. Cicha, J. Tejkal, începînd din 1965).

— Reactivitatea experimentării în geologie, în alte domenii decît cele clasice (hidrogeologie, sedimentologie etc.) prin dezvoltarea aplicaţiilor principiului similitudinii (introdus în geologie în 1953 de K. Hubbert) prin care se precizau condiţiile proprietăţilor fizico-mecanice ale materialelor supuse experimentării pentru ca rezultatele să fie compatibile cu cele din natură, precum şi prin dezvoltarea teoriei deformărilor plastice sau de curgere în stare solidă a rocilor (de exemplu în sinteza de Geodinamică, 1969, şi în lucrarea *Rheology of the Tectonosphere*, 1972, elaborate de A.E. Scheidegger). — *V.L.*

CAPITOLUL IV
Astronomia

A. INTRODUCERE

Neglijînd într-o oarecare măsură sistemul solar, cu excepţia Soarelui însuşi, astronomii secolului al XX-lea au demonstrat unitatea Galaxiei, unitate bănuită de cel puţin două secole, dar nedovedită în mod categoric. Ei au stabilit planul general al Galaxiei, dimensiunile şi mişcările ei interne, reînnoind astfel, pentru sistemul stelar din care facem parte, opera pe care o desăvîrşiseră pentru sistemul solar Copernic, Tycho Brahe şi Kepler. Mai mult, ei au arătat că, pînă la limitele pe care le putem explora cu ajutorul telescopului şi al radiotelescopului, Universul este populat de galaxii analoage cu a noastră. Astfel, cunoaşterea lumii s-a extins, în două etape, de la limitele sistemului solar, situate la numai cîteva ore-lumină, pînă la galaxiile situate la cîteva miliarde de ani-lumină.

Dacă astronomia fundamentală a atins în secolul al XIX-lea un grad foarte înalt de perfecţiune, aceasta s-a datorat, pe de o parte, progresului metodelor de observaţie şi construirii unor cercuri meridiane şi a unor ceasornice de mare precizie, iar pe de altă parte, dezvoltării teoriei planetelor, ale cărei principii fuseseră stabilite de Laplace încă de la începutul secolului. Avîntul prodigios al astronomiei stelare, al atronomiei galactice şi al astronomiei extragalactice din cursul ultimilor şaizeci de ani, s-a datorat unui concurs de împrejurări analoage: pe de o parte, crearea unui tip nou de instrumente, marele telescop fotografic, iar pe de altă parte descoperirea, cam în aceeaşi perioadă, a stelelor pitice şi a stelelor gigante, care a constituit cheia succesului astrofizicii teoretice.

În anul 1904 Fundaţia Carnegie l-a sprijinit pe George Ellery Hale în construirea unui mare observator la Mount-Wilson, în California. Primelor instrumente destinate studierii Soarelui, li s-au adăugat, în 1908 şi în 1918, două mari telescoape, de 1,52 m şi de 2,54 m deschidere, primele de acest fel. Clişeele fotografice obţinute cu aceste telescoape celebre şi cu altele care, de atunci, au fost puse în funcţiune în alte locuri, au dat posibilitatea cunoaşterii aspectului diferitelor obiecte cosmice care astăzi pot fi clasificate metodic. Cît despre colecţiile de spectre de stele sau de nebuloase pe care le-au furnizat, acestea au permis înflorirea diferitelor ramuri ale astrofizicii. Cu siguranţă că istoria va reţine numele lui G.E. Hale ca pe acela al unui mare precursor. El este acela care a conceput şi a pus în studiu, cu puţin timp înainte de moarte, proiectul telescopului cu deschiderea de 5 m de la Mount-Palomar.

Studiul calitativ și cantitativ al radiației stelelor este unica noastră sursă de cunoștințe cu privire la structura și starea fizică a acestora; dar această radiație, emisă de straturile exterioare ale stelelor, ne dă numai condițiile la limită ale unei probleme greu de abordat, cea a structurii interne a stelelor și a debitului lor de energie. Fizica stelară nu poate decît să urmărească, pas cu pas, progresele fizicii radiației care se ocupă de raporturile dintre materie și energie; dar multă vreme încercările ei de a ține pasul au fost ezitante. În secolul trecut, Helmholtz, Lane, precum și alții, au încercat să construiască o teorie mecanică și termodinamică a evoluției stelelor, dar consecințele deduse de ei pe această cale nu au fost acceptate de geologi. Astăzi sesizăm cu ușurință insuficiențele acestei vechi teorii: pe vremea aceea nu existau decît noțiuni empirice și sumare cu privire la mecanismul emisiei luminoase; era accesibilă observației numai suprafața unei singure stele, Soarele, și se admitea implicit că celelalte stele diferă de Soare mai ales prin temperatură și poate prin compoziția chimică, dar nu se știa nimic despre dimensiunile și densitatea lor. În sfîrșit, nu se bănuia existența reacțiilor termonucleare, generatoarele torentelor de energie emise de Soare și de stele.

Teoria spectrelor de emisie sau de absorbție, născută din fizica cuantică și din mecanica ondulatorie, nu-și are locul aici; dar nu știm cum i-am putea sublinia îndeajuns importanța, fiindcă fără ea exploatarea spectrelor stelelor sau nebuloaselor era cu totul incompletă. Totuși, o descoperire empirică, de data aceasta pur astronomică, a ușurat foarte mult sarcina specialiștilor: este vorba de descoperirea a două tipuri de stele net distincte prin luminozitatea lor, piticele și gigantele, anunțată de Ejnar Hertzsprung în 1905. Cîțiva ani mai tîrziu, în 1910, Henry Norris Russell, care tocmai determinase distanțele a 52 de stele, a studiat la rîndul său distribuția luminozității lor în funcție de tipul spectral; în 1913 și 1914 el și-a extins rezultatele la cîteva sute de stele și le-a reprezentat într-o diagramă în care clasa spectrală era luată ca abscisă, iar magnitudinea absolută ca ordonată. Pe această diagramă, care și astăzi este cunoscută sub denumirea de diagrama H—R (Hertzsprung—Russell), stelele nu se distribuie la întîmplare; se observă net două secvențe distincte, secvența numită astăzi principală și secvența gigantelor. Russell a arătat că masele gigantelor nu sînt cu mult mai mari decît cele ale piticelor (de zece sau de douăzeci de ori mai mari, pentru a ne fixa ideile) și că, în consecință, aceste două categorii se deosebesc mai ales prin volumele și densitățile lor. Această idee fecundă reprezintă unul din fundamentele fizicii stelare.

Lucrarea lui Hertzsprung a avut puțin răsunet; în schimb, cea a lui Russell a atras atenția și aceasta cu atît mai mult cu cît autorul ei vedea în ea o confirmare a ideilor mai vechi ale lui Lane și Lockyer asupra evoluției stelelor, după care, fiind formate din nebulozități de densitate mică și de temperaturi relativ scăzute, stelele trebuia să se condenseze pînă la epuizarea energiei lor potențiale gravitaționale. Conform acestei scheme, admisă aproape unanim prin anii 1920, ele se nășteau în starea de gigante roșii, urcau pe scara spectrală spre tipurile de stele albe, apoi coborau din nou la starea de stele pitice din ce în ce mai colorate, pînă la răcirea lor completă.

Descoperirea reacţiilor nucleare, considerate imediat după aceea ca adevărata sursă de energie a stelelor, a aruncat în uitare teoria lui Lane precum şi schema simplistă a lui Russell. Trebuie să spunem însă că Russell a contribuit el însuşi într-o mare măsură, în cursul îndelungatei sale cariere, la construirea noilor teorii. Însă diagrama H—R, îmbunătăţită necontenit, rămîne un instrument de lucru indispensabil în mîinile astrofizicienilor — cu toate că şi-a pierdut simplitatea sa originară — pentru că oferă o sinteză deosebit de sugestivă a datelor de observaţie. Cît despre teoria iniţială a lui Russell asupra evoluţiei stelelor, ea constituia pe atunci singura ipoteză de lucru imaginabilă şi a stat la baza a nenumărate cercetări, fapt datorită căruia importanţa ei istorică este considerabilă.

După terminarea celui de-al doilea război mondial, astronomii au început să beneficieze în cercetările lor de un nou domeniu spectral, cel al undelor radio, pînă atunci practic inabordabil. În cîţiva ani, tehnicile radioastronomiei, care provin din metodele de detecţie puse la punct pentru necesităţile apărării antiaeriene, au atins un grad de sensibilitate şi de precizie suficient pentru studiul radiosurselor: Soare, stele, planete, nebuloase, galaxii. Folosirea metodelor radioelectrice conjugate cu originalele metode optice al căror iniţiator a fost Bernard Lyot, a făcut să se înregistreze progrese decisive în fizica Soarelui şi, ca o consecinţă, în anumite capitole ale fizicii globului. Studierea radiosurselor galactice sau extragalactice nu este nici ea mai puţin promiţătoare, căci radiotelescopul „vede“ mai departe decît telescopul fotografic.

În sfîrşit, la 4 octombrie 1957, un vechi vis al omenirii a intrat în domeniul posibilului. În acea zi, un aparat a putut fi plasat pe o orbită în jurul Pămîntului. Patru ani mai tîrziu, un prim satelit avînd la bord un pasager, urmat curînd de un al doilea, au gravitat liber timp de cîteva ore în jurul Pămîntului. Foarte numeroşii sateliţi artificiali lansaţi în spaţiul din jurul Pămîntului au dus mai ales la progrese în domeniul geofizicii; însă unul dintre ei a înconjurat Luna şi ne-a furnizat o primă imagine a feţei ei necunoscute.

Pe măsură ce ştiinţa îşi extinde imperiul, abordarea sa devine din ce în ce mai dificilă. Cu un secol în urmă, orice om cultivat putea să-şi însuşească, fără a fi astronom, principalele metode şi rezultatele cele mai importante ale astronomiei. În zilele noastre, această disciplină face apel la un număr tot mai mare de tehnici diferite care constituie tot atîtea specialităţi. De aceea, pentru redactarea diferitelor părţi ale prezentului capitol s-a făcut apel la mai mulţi colaboratori. Şi dacă datorită acestui fapt au rezultat cîteva lacune sau, dimpotrivă, cîteva repetări, cititorul va putea găsi în schimb informaţii provenite direct de la sursă.

B. TELESCOAPE ŞI OBSERVATOARE

Progresele realizate începînd din secolul al XVII-lea în construcţia lunetelor astronomice au permis să se facă observaţii vizuale precise şi detaliate ale suprafeţelor planetare şi ale stelelor duble. Au putut fi observate stele din ce în ce mai slabe datorită creşterii diametrului obiectivelor, ceea ce a antrenat o îmbunătăţire a puterii de separare şi o creştere a cantităţilor de lumină colectate.

La sfîrşitul secolului al XIX-lea, diametrul anumitor refractoare atingea un metru (vol. III, 1, p. 136). Dar părea imposibil să se meargă mai departe, din cauza dificultăţii de a fabrica discuri de sticlă transparente mai mari. În plus, avînd în vedere aberaţiile cromatice pe care le prezentau, lunetele se dovedeau a nu fi prea potrivite pentru metodele fotografice şi spectografice care tocmai intrau în practica curentă a observatorilor. De aceea, eforturile s-au îndreptat în vederea perfecţionării reflectoarelor care nu prezintă aceste defecte şi care nu necesită decît blocuri de sticlă netransparente, mai uşor de realizat decît lentilele pentru obiective.

La începutul secolului al XX-lea, existau numai cîteva telescoape cu un diametru cuprins între 80 şi 91 cm şi abia în anul 1908 a fost instalat la Mount-Wilson un telescop de 152 cm a cărui oglindă fusese şlefuită de G.W. Ritchey. Rezultatele extraordinare care au putut fi obţinute cu ajutorul acestui telescop au dus la hotărîrea de a realiza un telescop de 254 cm diametru, care a fost dat în funcţiune în anul 1918 la Mount-Wilson. În cursul anilor următori, mai multe instrumente cu diametrul în jur de 2 m au fost instalate în Statele Unite (McDonald, Perkins) şi în Canada (Toronto, Victoria).

Promotorul astrofizicii la Mount-Wilson, G.E. Hale (1868—1938) a întocmit planurile unui telescop uriaş cu diametrul de 5 m. Acest instrument grandios a fost pus în funcţiune în 1948 la Mount-Palomar, un loc mai bine adăpostit de fumul şi de luminile oraşului Los Angeles. Realizarea sa este un succes remarcabil al opticii şi al mecanicii care pare greu de depăşit. Numărul foarte mare de clişee astronomice şi spectrografice pe care le-a furnizat au reînnoit toate cunoştinţele noastre de astronomie stelară.

După cel de-al doilea război mondial au fost instalate în diferite ţări multe alte instrumente cu diametrul destul de mare, deşi mai modest. Telescoapele Observatoarelor din Pretoria, cel de pe Mount-Stromlo (Australia), din Haute-Provence, din Berlin au diametre care se apropie de 2 m, în timp ce telescopul Observatorului Academiei de ştiinţe a U.R.S.S. din Crimeea, pus în funcţie în 1962, atinge 2,60 m şi cel de la Observatorul Lick (1960) este de 3 m.

Aceste telescoape de tip clasic, cu oglinzi principale parabolice, permit să se facă fotografii, fie direct (în focarul principal), fie după o reflexie plană (în focarul Newton). Folosirea unei oglinzi hiperbolice auxiliare permite mărirea scării (focar Cassegrain) sau trimiterea imaginii într-un laborator fix (focar Coudé). Dar aceste combinaţii optice nu permit obţinerea de clişee pentru cîmpuri stelare mari: de exemplu telescopul Hale nu dă imagini nete decît pe un cîmp circular de 15′.

Încă de multă vreme, numeroşi astronomi au încercat să remedieze acest grav defect. K. Schwarzschild a arătat în 1905 care sînt condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească aceste telescoape aplanetice cu cîmp mare. H. Chrétien a atras atenţia asupra unei variante deosebit de interesante, telescopul Ritchey-Chrétien, care necesită folosirea a două oglinzi a căror secţiune este o curbă transcendentă. În ciuda cîtorva neajunsuri datorate dificultăţilor de realizare, urmează ca instrumente de acest tip să intre în dotarea a două mari observatoare, cel al Universităţilor americane care fac parte din grupul A.U.R.A. de la Kitt Peak şi cel al proiectului european austral (telescoape cu diametrul de 3,5 m).

Dar cîmpul acestor instrumente rămîne destul de redus, în cel mai bun caz de ordinul a 1°. Din fericire, în 1931, un optician de la Observatorul din Hamburg, B. Schmidt, a adus o soluţie remarcabilă în problema telescoapelor cu cîmp mare, introducînd o lamă corectoare, „lama lui Schmidt“, destinată corectării aberaţiei de sfericitate a oglinzii sferice a telescopului atunci cînd primeşte fascicule de raze paralele[1]. Acest dispozitiv permite obţinerea de imagini excelente în cîmpuri foarte întinse, cu diametrul de cel puţin 10°. De atunci au fost instalate numeroase telescoape Schmidt. Cel de la Mount-Palomar, dotat cu o lamă de 120 cm şi o oglindă de 180 cm diametru, este de o calitate optică cu totul deosebită. El dă clişee cu latura de 40 cm care acoperă aproape 100 de grade pătrate, ceea ce a permis întocmirea unei hărţi pentru tot cerul boreal, aşa-numitul *Sky Survey* de la Palomar.

Instalarea acestor instrumente a ridicat numeroase probleme dintre care cea mai importantă este alegerea locului pentru amplasarea observatoarelor.

Instrumentele trebuie să se afle departe de luminile marilor oraşe şi să fie amplasate în regiuni în care cerul este în mod obişnuit senin şi în care atmosfera este destul de stabilă pentru ca turbulenţa ei să nu deterioreze imaginile. Aceste condiţii sînt întrunite în munţii Californiei, regiune care a devenit centrul astrofizicii moderne. Dar ele sînt realizate şi în alte regiuni (Mediterana, nordul Himalaiei etc.) în care au fost create mai multe observatoare moderne.

Problema principală care rămîne de rezolvat este dotarea emisferei australe.

Într-adevăr, această emisferă nu dispune decît de două telescoape, destul de vechi, cu diametrul de 187 cm. Aceste instrumente sînt cu totul insuficiente pentru studiul cerului austral, atît de bogat în aştri ieşiţi din comun. Trebuie notat, în particular, că dacă studiul centrului Galaxiei noastre poate fi abordat de la observatoarele din California, studiul celor doi Nori ai lui Magellan nu se poate face decît din emisfera australă.

Sînt în studiu diferite proiecte destinate remedierii acestei situaţii. Cinci ţări europene au semnat o convenţie pentru instalarea unui observator dotat cu un telescop cu diametrul de 350 cm şi cu un telescop Schmidt comparabil cu cel de la Mount-Palomar, fie în regiunea Grand Karoo din provincia Capului Bunei Speranţe din Republica Sud-Africană, fie în cea a Anzilor chilieni, la nord de Santiago. La rîndul lor Statele Unite au în vedere instalarea unui mare observator în Chile, în timp ce Commonwealth-ul a stabilit proiecte similare pentru Australia[2].

---

[1] Cu privire la acest subiect vezi studiul lui V. Ronchi, pp. 214—215.

[2] Între timp au fost create în Chile două mari observatoare: Observatorul Inter-American de la Cerro Tololo (1962) şi cel european (European Southern Observatory) situat în La Silla (1964). — *I.G.*

C. RECEPTOARELE

Cel mai vechi receptor de lumină folosit de către astronomi este ochiul uman, care și astăzi, în 1963, a rămas receptorul cel mai perfect. Randamentul său este excelent, în anumite condiții el este sensibil la numai cîțiva fotoni. Este foarte important de notat faptul că timpul de expunere al ochiului nu este mai mare de una pînă la două zecimi de secundă, adică este capabil, în acest timp, să adiționeze energia fotonilor și să transforme această sumă în senzație vizuală; după acest timp el șterge totul și reia totul de la început. Această posibilitate îl face deosebit de apt de a sesiza fenomenele fugitive, trecătoare, și așa se explică uimitoarea sa adaptare la viața cotidiană.

În observațiile astronomice el își păstrează desigur aceste proprietăți care pot fi utilizate cu folos atunci cînd este vorba de a puncta o stea cu ajutorul firului micrometric sau în cazul astrolabului impersonal. Cu toate progresele electronicii, este aproape imposibil să se realizeze astăzi, în aceste condiții, un receptor care să-i fie superior. Trebuie să spunem că ochiul prezintă marele avantaj de a se prelungi printr-un creier uman pe care nici un calculator electronic nu-l poate egala în capacitatea de a filtra, clasifica, corela, interpreta.

Singura posibilitate de care dispun receptoarele fizice pentru a reuși mai bine decît ochiul este să acumuleze energia fotonilor pe perioade mult mai lungi, ceea ce permite o detecție mai ușoară. Placa fotografică prezintă acest avantaj; în astronomie duratele de expunere fotografică pot ajunge pînă la șaptezeci de ore, fiind deci posibilă fotografierea stelelor sau înregistrarea spectrelor mult sub pragul de vizibilitate. Avantajul potențial depinde în mare măsură de caracteristicile optice ale instrumentelor folosite, căci lumina parazită a cerului poate juca un rol important în cursul unor expuneri îndelungate, voalînd mai mult sau mai puțin placa fotografică.

Posibilitățile fotografiei au fost subliniate de Arago încă din 1839 la Academia de Științe a Franței. Primele fotografii care prezentau un interes științific au fost obținute de Janssen, pe atunci director al Observatorului din Meudon. Erau niște imagini remarcabile ale Soarelui, care fac încă și astăzi obiectul admirației astronomilor. În cazul luminii slabe a stelelor progresele au fost foarte lente. În iulie 1850, Bond și Whipple obțin la Observatorul din Harvard, prin daghereotipie, imaginea stelei Vega printr-o expunere de 100 secunde. Pe atunci era imposibil să se obțină imaginea unei stele de mărimea a doua. În 1857, experiențele au fost reluate folosind procedeul colodiului umed, fiind posibilă fotografierea lui Mizar și a companionului său, dar a trebuit să se aștepte anul 1880 pentru ca Pickering să înceapă la Harvard, odată cu introducerea plăcilor cu gelatină, efectuarea celei mai mari colecții de fotografii ale cerului care există în lume, cu clasificarea spectrală a mai mult de 225 000 de stele. Aproape toate datele pe baza cărora a luat naștere astrofizica au fost obținute cu ajutorul fotografiei.

În cursul secolului al XX-lea, sensibilitatea și finețea granulației emulsiilor au făcut progrese lente. În 1954, W.S. Finsen obține la Observatorul din Johannesburg fotografii frumoase în culori ale lui Marte și, în 1958, W.C. Miller obține și el la Mount-Palomar remarcabile fotografii în culori ale planetelor și nebuloaselor.

Alte date fundamentale pentru astrofizică au fost obţinute cu receptoare cu totul diferite, folosind fenomenele fotoelectrice. În 1905, Einstein a dat teoria efectului fotoelectric şi a arătat că fiecare grăunte de lumină, sau foton, este capabil să extragă dintr-o suprafaţă fotosensibilă un electron. Dacă acest electron ar fi putut să fie detectat, ar fi fost posibil să se detecteze ultimul constituent al luminii, fotonul. Această detecţie a electronului a devenit posibilă folosindu-se fenomenele de emisie secundară care au permis realizarea fotomultiplicatorilor (vezi p. 281). Extraordinara sensibilitate şi fidelitatea acestor fotomultiplicatori au condus la rezultate care au revoluţionat fotometria astronomică de douăzeci şi cinci de ani încoace. Încă din 1907, J. Stebbins efectuează primele măsurători ale fluxului luminos emis de Lună cu ajutorul unei celule fotorezistente cu seleniu, dar această celulă nu este nici suficient de sensibilă, nici suficient de fidelă pentru a fi utilizată în fotometria astronomică. Prin 1922, G. Rougier, la Observatorul din Strasbourg, şi Guthnick, la Observatorul din Babelsberg, folosesc primele celule fotoelectrice cu potasiu pentru măsurarea magnitudinilor stelare şi pentru studiul fotometric al Lunii.

Prin 1932, Whitford perfecţionează considerabil amplificatoarele, ceea ce permite folosirea celulelor fotoelectrice cu o mult mai mare eficacitate.

În 1936, Zworîkin realizează primele fotomultiplicatoare şi primii care le folosesc în astronomie sînt Whitford şi Kron, dar rezultatele obţinute sînt mai slabe decît cele la care se ajunge utilizînd celule fotoelectrice, căci sensibilitatea fotocatodei este slabă şi curentul de întuneric este mare. Progrese considerabile au fost făcute după 1941 cu fotomultiplicatorul 1 P.21 al Companiei R.C.A. şi cu fotomultiplicatoarele realizate după 1947 la Observatorul din Paris.

Acelaşi fenomen fotoelectric a fost folosit de A. Lallemand în 1936 pentru înregistrarea imaginilor cu ajutorul camerei electronice. Din 1955 această cameră este folosită în mod obişnuit la observatoarele din Haute-Provence, de la Pic-du-Midi şi, din 1959, la Observatorul Lick din California. Imaginea înregistrată prin intermediul fotoelectronilor poate fi de zece ori mai fină decît imaginea fotografică clasică, sensibilitatea poate fi de o sută sau de o mie de ori mai mare decît cea a plăcii fotografice şi răspunsul, adică numărul de granule de argint developate, este proporţional cu numărul de fotoni primiţi; nu există deci prag de sensibilitate.

Bolometrul, care a fost pus la punct de către Langley (1900), foloseşte variaţia rezistenţei unui conductor cu capacitate calorică mică, atunci cînd se încălzeşte sub acţiunea radiaţiilor. Sensibilitatea instrumentului este îmbunătăţită atunci cînd conductorul este plasat în vid. Pentru măsurarea acestei încălziri poate fi folosită şi pila termoelectrică (Coblentz, 1913) plasată de asemenea în vid. Sensibilitatea bolometrului şi cea a termopilei sînt comparabile. Acţiunea de mare anvergură începută de Abbot prin 1880 folosind bolometrul ca receptor de energie a fost continuată aproape pînă în zilele noastre, în special în studiile asupra Soarelui. În cazul planetelor sau al stelelor, unde sensibilitatea bolometrului este prea slabă, Coblentz, Pettit şi Nicholson (1906—1927) au preferat să folosească cupluri termoelectrice în vid, însă sensibilitatea este încă foarte slabă şi măsurătorile nu sînt posibile decît pentru stelele foarte strălucitoare.

În aceste studii în domeniul infraroşu, astronomii au obţinut un anumit succes cu receptoarele care folosesc proprietăţile semiconductoarelor, în special sulfura de plumb. În 1947, G.P. Kuiper a realizat un spectrograf în infraroşu avînd ca receptor aceste celule noi cu sulfură de plumb, mult mai sensibile decît pilele termoelectrice. Cu acest aparat, el a reuşit să pună în evidenţă un mare număr de benzi de absorbţie în lumina emisă de planete, pînă la 2,1 μm.

Dar aceste regiuni din infraroşu sînt profund modificate de benzile de absorbţie ale atmosferei terestre, de aceea se are în vedere utilizarea sateliţilor pentru a obţine observaţii mai bune. Această folosire posibilă a sateliţilor necesită studierea şi punerea la punct a unor noi receptoare capabile să măsoare radiaţiile care nu pot ajunge pînă la noi; ultravioletul depărtat, radiaţiile X, ceea ce va constitui punctul de plecare al unor importante descoperiri.

D. ASTRONOMIA FUNDAMENTALĂ ŞI MECANICA CEREASCĂ

Astronomia fundamentală se ocupă de „poziţiile" (adică de direcţiile) stelelor şi ale planetelor, iar *mecanica cerească* studiază mişcarea planetelor; cunoaşterea acestor elemente conduce la definirea sistemului geometric de referinţă la care sînt raportate datele de observaţie, şi în felul acesta are un rol esenţial în valorificarea unei mari părţi a rezultatelor obţinute în diferitele ramuri ale astronomiei.

Totuşi, o dată cu avîntul general al cunoştinţelor ştiinţifice, cîmpul cercetărilor astronomice s-a extins într-o asemenea măsură încît astronomia fundamentală şi mecanica cerească nu mai ocupă decît un loc restrîns în studiul evoluţiei astronomiei; şi aceasta cu atît mai mult cu cît în aceste două domenii, în mod convenţional, nu sînt incluse probleme de origine recentă, cum ar fi studiul vitezelor radiale, al rotaţiei galactice, al problemelor de dinamică stelară etc.

Organizarea metodelor de lucru este un factor important în progresele realizate. Acumulării de rezultate disparate i se substituie sistematic, de la începutul secolului, elaborarea de programe internaţionale. Hotărîrile Uniunii Astronomice Internaţionale (U.A.I.), înfiinţată în 1919 şi formată în prezent din 39 de naţiuni[3], sînt executate cu o disciplină destul de riguroasă; ele facilitează obţinerea de ajutoare din partea guvernelor respective, mai ales în materie de fonduri.

1. Astronomie fundamentală

În afara aparatelor speciale menţionate în cele ce urmează a apărut un număr mare de instrumente noi, care încă nu şi-au dovedit calităţile.

Instrumentul meridian îşi păstrează rolul principal. După introducerea micrometrului impersonal (vol. III, I, p. 142), i s-au adus numeroase perfecţionări

---

[3] Trebuie subliniat că şi ţara noastră face parte din Uniunea Astronomică Internaţională şi participă la anumite programe de cercetare în domeniul astronomiei fundamentale, al micilor planete, al relaţiilor Soare-Pămînt, al stelelor variabile etc. — *I.G.*

(înregistrare fotografică sau fotoelectrică a cercurilor, cronografe imprimante, automatizarea înregistrărilor etc.), fără ca vreuna dintre ele să aibă un efect demn de luat în seamă asupra preciziei măsurătorilor. Vom nota numai că înregistrarea fotoelectrică a trecerilor, tehnică de mare fineţe studiată de N. Pavlov începînd din 1933, dă în prezent rezultate excelente în U.R.S.S.

CONSTANTELE FUNDAMENTALE. După lucrările lui Newcomb (vol. III, 1, p. 161) Conferinţa Internaţională consacrată stelelor fundamentale, ţinută la Paris în 1896, a adoptat valori numerice convenţionale pentru nutaţie (9", 21), aberaţie (20", 47), paralaxa solară (8", 80), şi l-a însărcinat pe Newcomb să calculeze precesia pornind de la mişcările proprii din catalogul său fundamental; valoarea acestei constante a fost fixată definitiv în 1905 (50, 256 s).

Avantajul obţinut din unificarea constantelor fundamentale a fost considerabil. În plus, este demn de remarcat faptul că valorile pe care le-am adopta astăzi (dacă n-ar fi exclus să se treacă la modificarea valorilor convenţionale înainte de apariţia unor discordanţe grave), ar fi foarte apropiate de valorile deja alese, aşa cum s-a constatat la Colocviul Internaţional asupra Constantelor fundamentale, ţinut la Paris în 1950.

De fapt, valoarea observată a constantei nutaţiei nu este în acord cu valoarea care poate fi dedusă teoretic (9", 227) din alte constante (precesia, turtirea terestră); Jeffreys a arătat în 1952 că discordanţa se explică prin faptul că Pămîntul nu este rigid. Pentru aberaţie, determinările moderne ar cere ca constanta să fie mărită cu 0", 03 sau chiar mai mult. Pentru precesie ar fi de dorit o corecţie de aproximativ + 0,008 s, în special pentru a ţine cont de rotaţia galactică.

Măsurarea paralaxei solare a condus la constatarea unor abateri care n-au putut fi încă explicate. Această constantă figurează în numeroase fenomene astronomice. Ea se obţine prin metoda triangulaţiei, prima în ordine cronologică (vol. II, p. 515); asteroidul Eros, descoperit la sfîrşitul anului 1897, a făcut obiectul a două campanii organizate în 1901 şi 1931 cu ocazia celor două opoziţii favorabile cînd distanţa lui pînă la Pămînt era respectiv de trei şi de cinci ori mai mică decît cea a Soarelui; pe baza rezultatelor din 1901, Hinks a dedus valoarea de 8", 806, iar pe baza celor din 1931, Spencer Jones a dedus valoarea de 8", 790. Pe de altă parte, viteza luminii provenind acum, spre deosebire de ceea ce se petrecea în secolul al XVIII-lea (vol. II, pp. 313 şi 508), din măsurători de laborator, paralaxa solară se deduce din aberaţie, valoarea obţinută fiind foarte apropiată de 8", 790. Printre alte determinări demne de încredere, cea care decurge din masa sistemului Pămînt—Lună, dedusă de E. Rabe (1950) din perturbaţiile suferite de Eros, conduce la valoarea 8", 798.

Rolul de arbitru între aceste evaluări puţin concordante va aparţine poate determinărilor de distanţă efectuate cu ajutorul radarului; în 1958 în S.U.A. au fost obţinute ecouri de pe Venus. Acest procedeu nu permite încă o concluzie definitivă, datorită posibilităţii unei erori sistematice intrinseci, dar ultimele rezultate obţinute în U.R.S.S. şi în S.U.A. (1961—1962) sînt de o mare coerenţă; unitatea astronomică de lungime şi paralaxa solară care se deduce din ea se găsesc respectiv în următoarele intervale:

149 598 000 km ± 2000 km şi 8", 794 15 ± 0",000 15

CATALOAGELE FUNDAMENTALE. În acest domeniu, faptul cel mai important este că s-a ajuns la adoptarea unui catalog astronomic unic. Recomandată de Congresul internaţional asupra Efemeridelor (1911), adoptată ca hotărîre de către U.A.I. în 1925, această măsură nu a intrat efectiv în vigoare decît începînd din 1941, o dată cu publicarea în patru limbi a efemeridelor unui catalog conţinînd 1535 stele, *Dritter Fundamental Katalog* (F.K.3). F.K. 3 a fost obţinut de către Kopff prin extinderea şi ameliorarea catalogului lui Auwers (vol. III, 1, p. 144); F.K.4 care l-a înlocuit în 1962, a fost dedus din F.K. 3 prin mici rectificări.

Cataloagele fundamentale provin din aceleaşi surse (observaţii meridiane absolute, în principal efectuate la observatoarele din Greenwich, Washington, Pulkovo, Capetown), şi natura erorilor lor sistematice nu s-a prea schimbat. Nu de mult s-a pornit la elucidarea naturii acestor erori: astrolabul impersonal i-a permis lui B. Guinot, în 1958, să stabilească o legătură precisă între poziţiile stelelor depărtate unele de altele; pentru prima oară erau puse în evidenţă abaterile unui catalog relativ la un sistem mediu ideal. Punerea în funcţiune a unui lanţ convenabil ales de astrolabe impersonale ar duce la stabilirea unui sistem de poziţii neafectat de erori sistematice; în acest caz instrumentelor meridiane le-ar mai reveni numai orientarea sistemului (ecuator, echinocţiu) şi îmbogăţirea sa.

Cel mai important dintre cataloagele de mişcări proprii este *General Catalogue* (*G. C.*), care conţine 33 342 de stele. L. Boss (1910) a întocmit mai întîi un catalog preliminar (*P.G.C.*) de 6188 de stele; el l-a extins folosind 200 000 de observaţii meridiane efectuate între 1907 şi 1918 (la Albany, S.U.A., şi la San Luis, Argentina); această muncă a fost încheiată de B. Boss, fiul său. *G.C.*, apărut în 1937, este unul dintre monumentele astronomiei contemporane; el stă la baza unui număr considerabil de lucrări de astronomie stelară.

CATALOAGELE DE POZIŢII ŞI SISTEMELE DE REFERINŢĂ. După descoperirea rotaţiei galactice, căutatea unui reper absolut a devenit o problemă urgentă. Reperul ideal este *sistemul inerţial planetar* (Anding, 1905) definit de legile mecanicii pornind de la mişcarea Soarelui şi a planetelor; el este greu de obţinut; totuşi raportarea stelelor la micile planete, propusă de F. Dyson în 1928, a făcut obiectul unor studii aflate de-acum într-un stadiu avansat în S.U.A. şi în U.R.S.S.

Raportarea stelelor la obiecte infinit de îndepărtate deschide o altă cale, care, dealtfel, nu conduce cu necesitate la acelaşi rezultat. În acest scop, H. Curtis a atras în 1928 atenţia asupra nebuloaselor extragalactice; cu ajutorul unor clişee luate la interval de 25 de ani, orientarea sistemului de referinţă poate fi definită cu o aproximaţie mai mică de 0",01.

Pe această temă au fost întocmite două mari programe, în curs de realizare: cel de la Pulkovo (1932) şi, cincisprezece ani mai tîrziu, cel de la Lick. Utilizarea lor este subordonată existenţei unui catalog extins al stelelor slabe ale căror poziţii servesc ca intermediar pentru raportarea nebuloaselor extragalactice la stelele fundamentale.

Datorită acestui fapt reobservarea stelelor din *A.G.* (vol. III, 1, p. 144) a căpătat un nou obiectiv. Determinările din 1929—1930, care au dus la *A.G.K.* 2, au fost reluate după 25 de ani. În cele două cazuri, clişeele acoperind cerul din emisfera nordică, luate cu astrograful cu cîmp mare de la Bergedorf (şi de asemenea, prima oară, cu cel de la Bonn), au fost reduse cu ajutorul unor observaţii meridiane care se întind pe o perioadă de cinci ani, şi la care contribuie numeroase observatoare. *A.G.K.* 3, care a apărut în 1964, conţine mişcările proprii omogene ale unui număr de aproximativ 180 000 de stele[4]. Pentru emisfera sudică programul se află abia la începutul executării sale.

2. Pămîntul şi timpul

INSTRUMENTELE DE OBSERVAŢIE; CONSERVAREA TIMPULUI. Variaţia polului terestru şi variabilitatea verticalei locale fiind fapte stabilite (vol. III, 1, p. 146), rezultă că studiul fenomenelor legate de Pămînt şi de axa acestuia de rotaţie (longitudinea, latitudinea), cere instrumente capabile să concretizeze ele însele sistemul de referinţă local.

Luneta zenitală fotografică (*photographic zenithal tube*, sau *P.Z.T.*) răspunde destul de bine acestei cerinţe. Ea este strict zenitală; conceput de F. Ross în 1915, instrumentul a fost adaptat de F. Littell în 1933 pentru determinarea timpului. Rezultatele prezintă o mare precizie.

Astrolabul, pe care A. Claude l-a imaginat în 1899 şi pe care l-a realizat doi ani mai tîrziu împreună cu Driencourt, foloseşte o prismă echilaterală pentru devierea a două fascicule incidente, unul direct iar celălalt provenit dintr-o reflexie pe o baie de mercur. Coincidenţa celor două imagini este realizată în momentul în care înălţimea stelei este de 60°. Prin metoda înălţimilor egale, datorată lui Gauss (1808), se obţine latitudinea staţiei şi timpul sideral local al pendulei.

Instrumentul, la început portativ, avea să devină un instrument de observator după corectarea a două defecte: unicitatea coincidenţei observate şi prezenţa unei „ecuaţii personale“, variabilă cu reglajul. *Astrolabul impersonal* al lui A. Danjon răspunde acestor cerinţe cu ajutorul unui birefringent antrenat care introduce o deviaţie variabilă. Prototipul a fost realizat în 1951; modelul, construit în serie după 1956, permite observarea stelelor de magnitudine 6; el se caracterizează printr-o precizie intrinsecă de 0″,10 (pentru o observaţie individuală a stelei) şi prin absenţa unor erori sistematice perceptibile.

Folosirea *generatoarelor de frecvenţă* a transformat problema conservării timpului.

Ceasurile cu diapazon, apărute în 1925, nu prezintă decît o fidelitate comparabilă cu cea a ceasurilor cu pendul. În aceeaşi perioadă a început să fie stabilizată frecvenţa emisiilor radio-electrice prin folosirea frecvenţei proprii a unor bare plăci sau inele de cuarţ cu feţe metalizate, întreţinute în rezonanţă prin fenomenul de piezoelectricitate; în 1929, W. Marrison pune la punct un indicator de timp la această frecvenţă de rezonanţă (100 000 Hz), demultiplicată în mod convenabil. *Ceasurile cu cuarţ* au fost perfecţionate rapid şi au intrat în dotarea observatoarelor începînd din 1933; ţinînd cont de o „derivă" în general constantă, abaterile zilnice ale acestor păstrătoare de timp nu depăşesc astăzi cîteva sutimi de milisecundă.

---

[4] În cadrul colaborării la programul „Crearea unui nou sistem de referinţă pentru stele“, un colectiv de la Observatorul Astronomic Bucureşti a publicat recent catalogul intitulat *Bucharest KSZ Catalogue of Faint Stars*. Declination zone −11° to +11° (Catalogul de stele slabe KSZ Bucureşti. Zona de declinaţii −11° +11°), Bucureşti, Ed. Academiei R.S.R., 1972, 364 p. — *I. G.*

Ceasurile atomice folosesc frecvenţele radio asociate rezonanţelor interne ale materiei, fenomene descoperite încă din 1934; o astfel de frecvenţă este folosită pentru a o stabiliza pe cea a unui oscilator auxiliar cu cuarţ. Primul ceas atomic capabil să funcţioneze continuu a fost realizat de Essen şi Parry în 1955; frecvenţa mamă a acestuia este o frecvenţă de tranziţie a cesiului, căreia i s-a acordat de atunci rolul de etalon autonom de timp.

MIŞCAREA POLULUI. După 1900, Serviciul Internaţional al Latitudinilor s-a preocupat de stabilirea traseului continuu al traiectoriei descrise de Polul Nord pe suprafaţa Pămîntului. El dispunea iniţial de 6 staţii de observaţie uniform repartizate pe paralela de latitudine +39°8′; rezultatele slabe ale unora dintre aceste staţii sînt compensate prin cooperarea staţiilor „independente" constituite de *P.Z.T.*-uri şi, de puţin timp, de astrolabe impersonale.

Principalele caracteristici ale mişcării polului erau cunoscute din 1892 (vol. III, 1, p. 146); de atunci au apărut, într-un ritm accelerat, mai mult de 2000 de lucrări în legătură cu acest subiect: este însă suficient să spunem că în această direcţie cunoştinţele noastre n-au făcut nici un progres.

Ne-ar lua prea mult timp să examinăm aici cauzele acestui eşec. Situaţia se va ameliora atunci cînd erorile sistematice ale determinărilor nu vor mai atinge sutimea de secundă. Ar fi util ca *P.Z.T.*-urile să dispună de cataloage de stele slabe, precise şi omogene şi să fie puse în funcţiune astrolabe impersonale situate în mod convenabil. În orice caz, rezultatelor obţinute din determinări de latitudine li se vor putea adăuga în curînd cele obţinute din analiza determinărilor de timp; acestea din urmă, a căror precizie este în creştere rapidă, se bucură de o coerenţă bine verificată.

TIMPUL ŞI LONGITUDINILE. Problema longitudinilor şi-a schimbat aspectul din momentul în care a fost posibilă folosirea semnalelor radioelectrice. Măsurătorile relative ale cuplurilor de staţii cu transfer de cronometru (vol. II, p. 521), au fost înlocuite cu măsurători individuale, corelate mutual prin ascultarea unui aceluiaşi semnal. Din acest moment a fost asigurată siguranţa determinărilor de longitudine pe mare. Prima emisiune regulată de semnale orare radioelectrice a fost realizată la *Naval Observatory* din Washington în 1905. Atunci cînd distanţa la care ajungeau aceste semnale a devenit suficient de mare, s-a constatat că emisiunile provenite din diferite centre nu concordau, ceea ce l-a determinat pe generalul Ferrié în 1911 să propună crearea unui organism centralizator. Consiliul Internaţional al Cercetării (viitorul Consiliu Internaţional al Uniunilor Ştiinţifice), reunit la Bruxelles în 1919, a elaborat statutul Biroului Internaţional al Orei (B.I.O.), al cărui sediu a fost stabilit la Observatorul din Paris.

Sarcina B.I.O.-ului este de a centraliza determinările de oră făcute în observatoarele care îi sînt asociate (determinări care, cu excepţia celor din Paris, îi sînt transmise prin semnale orare), şi de a deduce ora „cea mai exactă". Mai precis, este determinat şi transmis *Timpul universal* (timpul solar mediu de la Greenwich la care se adaugă 12 ore); adoptarea meridianului Greenwich[5] ca meridian origine internaţional este una dintre măsurile de unificare decise la Congresul Internaţional al Efemeridelor deja citat.

Stabilirea unei reţele mondiale omogene pentru longitudini a făcut obiectul a trei mari campanii internaţionale, în 1926, în 1933 şi în 1958. Aceasta răspunde nevoilor astronomilor şi geodezilor de a cunoaşte cu o precizie de 0,001 s longitudinile relative ale staţiilor fundamentale, şi variaţiile lor.

Organizarea acestor campanii a fost facilitată de conexiunea obiectivului lor cu un subiect oarecum secundar — care însă interesează opinia publică din alt punct de vedere — problema genezei continentelor.

A. Wegener a expus în 1911 teoria derivei continentelor, după care continentele, iniţial sudate, s-ar fi îndepărtat încet în cursul unei mişcări care ar continua şi în zilele noastre.

De fapt, deşi fructuoase în ceea ce priveşte obiectivul lor principal, rezultatele obţinute cu ocazia celor trei operaţiuni destinate longitudinilor au arătat că în prezent nu există o derivă apreciabilă a continentelor: în locul îndepărtării anuale de mai mult de 10 m pe care o prevedea Wegener cu privire la Europa şi America de Nord, s-a constatat o apropiere (dealtfel nesemnificativă) de 1 m pe an.

VITEZA DE ROTAŢIE A PĂMÎNTULUI. La baza măsurării timpului a stat totdeauna rotaţia Pămîntului: împărţirea în zile, subdiviziunea zilei, apoi, mai precis, a zilei solare medii. Posibilitatea teoretică a modificării vitezei acestei rotaţii a fost semnalată de multă vreme (vol. II, pp. 512—513). Exprimînd teoriile mişcării corpurilor sistemului solar cu ajutorul efemeridelor, se presupune implicit că ziua solară medie este constantă; variaţia acesteia trebuie să apară din dezacordurile dintre observaţie şi efemeride, dezacorduri cu atît mai sensibile cu cît deplasarea unghiulară a corpului este mai mare.

Depistarea acestor variaţii era deci natural să înceapă cu studiul mişcării Lunii. Teoria acestui corp a devenit satisfăcătoare abia după lucrările lui E. Brown; tabelele întocmite de el, apărute în 1919, conţineau un termen empiric; şapte ani mai tîrziu el a dovedit că acest termen nu se putea datora decît unei fluctuaţii a vitezei rotaţiei terestre.

Analiza făcută de Spencer Jones în 1939 se referea la longitudinile planetelor Venus şi Mercur, ale Soarelui şi ale Lunii; ea l-a condus la rezultate admise astăzi:

1. Ziua solară creşte uniform cu 0,00164 s pe secol; acest efect introduce un decalaj progresiv între timpul mediu şi un timp uniform, decalaj care atinge 50 de minute în interval de zece secole;
2. Acestui decalaj i se adaugă o fluctuaţie neregulată, a cărei amplitudine a fost de ordinul unui minut în cursul ultimelor trei secole.

---

[5] Transferarea recentă a Observatorului din Greenwich la Herstmonceux nu afectează meridianul origine, a cărui definiţie precisă este dealtfel de natură statistică.

În anul 1937, din studiul diferenţelor dintre timpul mediu şi cel al păstrătoarelor de timp cu cuarţ, N. Stoyko a decelat o variaţie sezonieră a vitezei zilnice de rotaţie , a cărei amplitudine totală era de ordinul unei milisecunde.

Încetinirea seculară se datorează pierderii de energie pe care o provoacă mareele prin frecare; variaţia sezonieră este de origine meteorologică. Structura fină a fluctuaţiei neregulate a devenit accesibilă după 1955 prin compararea timpului terestru cu cel al etaloanelor atomice; este în studiu corelarea sa cu fenomene de origine solară.

TIMPUL EFEMERIDELOR. Rotaţia terestră nefiind uniformă, baza scării timpului a fost schimbată, folosindu-se indicatoare de timp mai fidele: poziţiile corpurilor din sistemul solar. Efemeridele alcătuite pe baza teoriilor acestor corpuri sînt tabelate în funcţie de un argument, care, conform recomandării *Colocviului Internaţional asupra Constantelor fundamentale* din 1950, a fost definit ca Timpul Efemeridelor (*T.E.*).

Prin decizia Comitetului Internaţional al Greutăţilor şi Măsurilor din 1956, *unitatea de timp*, secunda, este de-acum înainte legată de mişcarea Soarelui: ea este egală cu 1/31 556 925, 9747 din anul tropic la 31 decembrie 1899, 12 h T.E.[6].

Prin însăşi definiţia sa, Timpul Efemeridelor devine accesibil numai prin analiza observaţiilor asupra corpurilor sistemului solar, observaţii care sînt de o precizie mediocră şi trebuie considerate pe o perioadă de mai mulţi ani. Pentru a putea fi obţinut mai uşor, W. Markowitz a construit în 1952 o cameră fotografică lunară (*moon camera*), care înlesneşte observarea Lunii relativ la cîmpul stelar: cu ajutorul unui filtru cu înclinare variabilă se poate face ca imaginea Lunii să rămînă fixă în raport cu cele ale stelelor din cîmp. Cu toate că au fost puse în funcţiune mai multe astfel de instrumente, fenomenul măsurat este prea complex pentru a şti de pe acum dacă rezultatele nu sînt afectate de erori sistematice.

Ceasul atomic, odată fixată valoarea convenţională a frecvenţei sale, este păstrătorul unui timp care îi este propriu şi pe care îl indică direct. Problemele care se pun în prezent sînt următoarele: este oare exclusă posibilitatea ca diferitele etaloane atomice să prezinte derive relative şi, dacă da, scara timpului pe care o vor defini în comun va fi riguros uniformă în sensul mecanicii? Un răspuns în întregime afirmativ ar compromite viaţa noii scări a timpului în favoarea unei scări atomice.

3. Mecanica cerească

DESCOPERIRI. După 1890, planetele s-au îmbogăţit cu noi sateliţi (opt pentru Jupiter, doi pentru Saturn, unul pentru Uranus şi unul pentru Neptun). Asteroizii au primit numeroşi însoţitori, şi în prezent sînt determinate 4000 dintre orbitele lor; iată cîţiva dintre cei mai deosebiţi: Hermes (descoperit în 1937) s-a apropiat de Pămînt pînă la o distanţă reprezentînd numai o dată şi jumătate distanţa pînă la Lună; Icarus (1949) prezintă o excentricitate considerabilă (0,83), Hidalgo (1920) are o înclinare foarte mare (43°). În 1906 au fost descoperite primele dintre cele şaisprezece planete troiene cunoscute astăzi, asteroizi care formează fiecare în mod destul de evident un triunghi echilateral cu Jupiter şi Soarele; mişcarea lor materializează o soluţie a problemei celor trei corpuri găsită de Lagrange în 1772.

---

[6] În prezent secunda este definită ca un interval de timp de 9 192 631 770 de ori mai mare decît perioada radiaţiei emise la tranziţia hiperfină (4,0 → 3,0) a stării fundamentale a ^{133}Cs neperturbat de cîmpuri externe. — *I.G.*

Descoperirea *planetei Pluton* prezintă cîteva analogii cu descoperirea lui Neptun (vol. III, 1, p. 159). Analiza reziduurilor obţinute din observarea lui Uranus l-a condus pe P. Lowell la calcularea orbitei unei planete ipotetice (1915). Au fost necesare cercetări fotografice de mare anvergură; Observatorul din Flagstaff (Arizona) a fost dotat în mod special în vederea acestui scop şi C. Tombaugh a descoperit obiectul căutat la 18 februarie 1930, la numai 6° de poziţia prevăzută. A fost continuată investigarea sistematică, acoperind trei sferturi din cer; pînă la magnitudinea 16 nu mai există altă planetă.

Observaţiile directe asupra lui Pluton au dus la evaluarea unei mase de opt ori mai mici decît cea dedusă din analiza perturbaţiilor pe care le provoacă; originea acestei discordanţe nu este încă stabilită.

CERCETĂRI TEORETICE. Acestea se caracterizează în prezent prin lipsa lor de importanţă practică; să cităm cîteva dintre ele.

Mecanica analitică şi studiul proprietăţilor globale ale soluţiilor problemei celor trei corpuri s-au dezvoltat pe căile pe care le deschisese H. Poincaré, în special prin lucrările lui G.D. Birkhoff, ale lui Chazy şi ale lui Wintner.

Sundman a reuşit să asigure convergenţa uniformă a seriilor mecanicii cereşti (1912) prin introducerea unei variabile *regularizatoare*, a cărei folosire efectivă este dealtfel exclusă.

O dată cu lucrările lui Leapunov (1905), Jeans (1919), Jeffreys (1947), a fost definitiv stabilită instabilitatea figurii „piriforme" pe care o ia o masă fluidă în rotaţie cu viteză crescîndă; acest subiect are o oarecare importanţă în cosmogonie.

Şcoala sovietică foarte activă, animată de M. Subbotin, G. Khilmi, G. Merman şi alţii, obţine rezultate interesante în problema celor trei corpuri.

TEORIA RELATIVITĂŢII. Astronomia de poziţie a avut sarcina de a verifica unul dintre puţinele efecte detectabile pe care le prevede teoria relativităţii generalizate (vezi pp. 177—178): devierea *razelor luminoase* în vecinătatea Soarelui. Din momentul în care Einstein a făcut calculele (1916), numai şapte eclipse au decurs în condiţii favorabile fotografierii cîmpului stelar înconjurător; devierea a fost într-adevăr observată, dar măsurătorile sînt destul de discordante, iar media lor depăşeşte cel puţin cu o zecime valoarea teoretică de 1″, 75.

Din multiplele corecţii pe care teoria relativităţii le introduce în mecanica cerească, precizia actuală a observaţiilor nu permite să se reţină decît cele privind periheliile planetelor, afectate de un avans secular calculat de Schwarzschild (1916). Singurul avans important (42″,92) apare în cazul lui Mercur; el reprezintă exact diferenţa dintre observaţie şi calcul rămasă pînă atunci neexplicabilă (vol. III, 1, p. 161); teoria relativităţii a lui Einstein şi-a găsit astfel o confirmare pe care analizele moderne ale mişcării lui Mercur au întărit-o: valoarea experimentală a reziduului este estimată de Duncombe (1958) ca fiind $43'',10 \pm 0'',44$. Concordanţa este la fel de bună pentru celelalte planete, inclusiv Marte.

TEORIA LUNII ŞI A PLANETELOR. *Teoria* unui corp este constituită de dezvoltările, în funcţie directă sau indirectă de timp, ale parametrilor care fixează poziţia corpului.

Pînă acum, autorul unei teorii trebuia practic să efectueze singur cea mai mare parte a muncii, fiecare etapă fiind determinată de precedenta. Astfel încît singura preocupare era aceea de a umple lacunele cele mai importante ale teoriilor anterioare elaborate de Le Verrier, Hill şi Newcomb; în acest sens Gaillot s-a ocupat de Saturn (1904) şi de Jupiter (1913), iar Ross de Marte (1916).

Luna, pentru care nu exista o teorie satisfăcătoare, face excepţie. E. Brown i s-a consacrat începînd din 1896, aplicînd metoda creată de Hill în 1877, metodă care avea la origine o sugestie a lui Euler (1768); reprezentarea mişcării prin intermediul unei orbite mobile de mărime fixă. Numai calculul numeric al seriilor trigonometrice a necesitat aproape 10 000 de ore. Teoria lui Brown (1909) şi tabelele întocmite de el (1919) stau la baza efemeridelor moderne (*Improved Lunar Ephemeris*, 1954) şi la originea cunoştinţelor noastre cu privire la variabilitatea rotaţiei terestre.

După 1948, folosirea calculatoarelor electronice a schimbat total situaţia. În primul rînd, efemeridele pot fi obţinute direct, fără intermediul teoriilor analitice, prin integrarea numerică a sistemului de ecuaţii diferenţiale şi prin tratarea numerică a materialului oferit de datele de observaţie. Pe această cale au fost calculate Tabelele celor cinci planete exterioare (de către Eckert, Brouwer şi Clemence, în 1951), ale Soarelui şi ale lui Venus (de către Herget, 1953 şi 1955).

Mai mult, o teorie poate fi rectificată, pe baza dezvoltărilor anterioare, ameliorînd valorile coeficienţilor. Clemence a procedat în felul acesta în cazul lui Marte (1961).

În sfîrşit, se pot elabora chiar şi teorii analitice cu ajutorul calculatoarelor, dacă li se furnizează argumentele dezvoltărilor. Această cale semianalitică, seminumerică, este foarte promiţătoare; ea se aplică cu succes în rezolvarea unor probleme generale pentru care nu se întrezărise pînă acum nici o soluţionare; ea a fost recent abordată (1959).

În 1895, Newcomb nota că rămîneau neexplicate trei discordanţe între teorie şi observaţie, discordanţe referitoare la mişcările seculare ale periheliului lui Mercur, ale periheliului lui Marte şi ale nodului lui Venus. Curînd la acestea s-a adăugat reziduul în longitudine al Lunii.

Folosindu-se corecţiile relativiste, ameliorarea valorilor maselor planetelor, rectificarea scării timpului terestru, se constată astăzi că teoria newtoniană (corijată de teoria relativităţii) conduce la o reprezentare cît se poate de corectă a mişcărilor din sistemul solar.

Sursa noilor progrese o vor constitui probabil dezacordurile care sperăm că vor apărea din momentul în care precizia datelor de observaţie va creşte. În această privinţă, se poate conta mult pe dezvoltarea viitoare a sateliţilor artificiali, în legătură cu probleme dintre cele mai diverse ca cea a masei Lunii şi a planetelor interioare, a paralaxei solare, a determinării timpului efemeridelor, a rataşării timpului efemeridelor, a rataşării geometrice a staţiilor terestre de observaţie.

E. SOARELE, PLANETELE, LUNA

Ultimii ani au fost martorii dezvoltării unor tehnici de explorare directă a spaţiului, care au furnizat rezultate în întregime noi. Importanţa acestor rezultate constă îndeosebi în aceea că marchează în ştiinţa astronomică începutul unei revoluţii care poate fi considerată cel puţin tot atît de importantă ca aceea datorată inventării lunetelor astronomice, cu trei secole şi jumătate în urmă.

Această revoluţie rezultă, aşa cum se întîmplă de obicei, în urma unei cotituri decisive privind posibilităţile instrumentelor. În urma acestui eveniment se poate concepe ca, plasînd aparatele într-un punct oarecare al spaţiului cosmic (în anumite limite încă!), să se poată face măsurători fie asupra proprietăţilor mediului ambiant — *in situ* — fie asupra radiaţiilor care se propagă în el. În acest din urmă caz, apare posibilitatea de a căpăta, în privinţa unor obiecte încă inaccesibile, observaţii imposibil de efectuat de pe Pămînt, dar posibile de la o distanţă la care se poate ajunge de acum înainte.

Dacă se are în vedere faptul că o astfel de explorare nu este posibilă, deocamdată şi, fără îndoială, încă multă vreme — decît pentru regiuni ale spaţiului relativ puţin îndepărtate de Pămînt, de fapt pentru *Sistemul solar*, se va înţelege că redactarea acestui capitol care îi este consacrat în exclusivitate, va fi foarte diferită, în echilibrul dintre diversele sale elemente, de ceea ce ar fi fost cu numai cîţiva ani în urmă.

1. Soarele

Interesul purtat studiilor solare, care astăzi este mult mai mare decît în 1900, provine din faptul că:

— Soarele este o stea medie infinit mai uşor de observat în detaliu decît oricare alta;

— Soarele are efecte directe asupra planetelor (deci şi asupra Pămîntului) şi asupra mediului interplanetar.

Nici unul dintre aceste două aspecte, deşi fuseseră întrevăzute, nu aveau, în 1900, forţa unei idei directoare, şi istoria astronomiei solare începînd cu acea dată se identifică în întregime cu dezvoltarea ideilor sale, în paralel cu progresele instrumentelor și ale observațiilor care le materializau.

SOARELE, STEA MEDIE. Faptul că Soarele este o stea ca oricare alta putea fi conceput cu o anumită certitudine cantitativă din momentul în care se cunoșteau distanțele, deci luminozitățile absolute ale cîtorva stele. Cît despre cunoașterea detaliată a straturilor sale exterioare, se poate spune că încă din 1900 ea era substanțială. Ceea ce lipsea nu erau faptele, ci firul conducător care să permită corelarea fenomenelor observate disparat, și în același timp legarea cazului Soarelui de cel al altor stele.

Or, în 1905, E. Hertzsprung este primul care se gîndește să întocmească o diagramă care să arate legătura între tipul spectral al stelelor (în linii mari temperatura de la suprafață) și strălucirea lor absolută. Soarele se situează în mijlocul regiunii celei mai populate, cea a *piticelor de tip* G, de temperatură medie, strălucire absolută medie, probabil vîrstă medie. Aflăm aici o condiție cel puțin necesară a legitimității ipotezei de lucru conform căreia ceea ce observăm pe Soare am putea observa și pe multe alte stele dacă mijloacele materiale ne-ar permite. În aceeași epocă se nasc teoriile privind structura internă a stelelor, teorii care trebuie în mod necesar să descrie și fenomenele din straturile externe, singurele care, pentru noi, pămîntenii sînt vizibile și observabile în detaliu numai în cazul unei singure stele: Soarele. De atunci interesul general pentru studiul acestei stele medii apropiate de Pămînt a crescut considerabil.

K. Schwarzschild (1873—1916) a indicat în 1906 condiția pentru a se stabili mișcări convective într-o stea, și a pus, fără a o rezolva, problema identificării cantitative a granulației fotosferice cu manifestarea vizibilă a fenomenelor convective din interiorul Soarelui.

Nici după mai bine de cincizeci de ani problema nu a primit încă un răspuns pe deplin satisfăcător. Pe plan teoretic, A. Eddington (1882—1944) publică în 1926 lucrările sale asupra interiorului stelelor în ipoteza echilibrului radiativ — transferul energiei prin radiație și nu prin convecția materiei — iar începînd din 1930, A. Unsöld și școala germană reiau problema ținînd cont în același timp atît de convecție cît și de radiație. Cu toate progresele recente înregistrate în observațiile asupra fotosferei nu s-a ajuns la înlăturarea neconcordanțelor cu modelele teoretice; mai mult, se descoperă noi fenomene dinamice, care îngreuiază această interpretare.

Marile noutăți în cunoașterea Soarelui au apărut însă odată cu dezvoltarea instrumentelor.

Prima în ordine cronologică este măsurarea de către G.E. Hale în 1908 a cîmpurilor magnetice existente în petele solare. Fără îndoială, aceasta nu a avut consecințe imediate prea mari. Dar ea a constituit punctul de plecare al unei vederi de ansamblu care de acum înainte va ocupa un loc de prim rang; după ce, datorită dezvoltării diferitelor tehnici, H.D. Babcock și H.W. Babcock la Pasadena, și A.B. Severnîi la Observatorul din Crimeea au reușit să măsoare, începînd din 1952, cîmpuri slabe și foarte localizate, putem considera cîmpul magnetic solar, în componentele sale constante sau variabile, ca osatura celor mai multor fenomene care afectează straturile exterioare ale Soarelor.

Cea de-a doua noutate este observarea coroanei solare de către B. Lyot (1897—1952) fără a avea nevoie de o eclipsă totală, datorită punerii la punct în 1930 a *coronografului* său pe care l-a folosit într-un observator de altitudine (Pic-du-Midi) pentru a scăpa de difuzia atmosferică. Creşterea numărului de linii observabile, studiul profilurilor lor şi al variaţiilor lor relative, împreună cu dezvoltarea spectroscopiei teoretice, l-a condus pe B. Edlén în 1941 la identificarea acestor linii ca fiind datorate unor atomi — în special de fier — foarte puternic ionizaţi. Mulţimea considerabilă de date permitea de pe acum să se vadă în coroană un mediu ce prezintă un interes deosebit atît pentru înţelegerea transferului radiaţiei solare spre exterior cît şi ca o probă de materie aflată în condiţii excepţionale.

Tot lui B. Lyot i se datorează (1943) şi filtrul monocromatic cu polarizare care permiţînd cinematografierea fenomenelor din cromosferă şi coroană, avea să conducă la o multitudine de idei încă incomplet clasificate datorită noutăţii lor, dar fără îndoială extrem de fecunde.

Un alt eveniment decisiv, nu cu totul neprevăzut, dar apărut şi el tot datorită introducerii unor tehnici noi, a fost descoperirea radiaţiei radioelectrice a Soarelui, în 1942, de către J.S. Hey şi F.J.M. Stratton (1881—1960). Abia după cel de-al doilea război mondial radioastronomia a putut să-şi extindă considerabil domeniul (vezi pp. 600—608), mai ales în cazul Soarelui, unde studiul în diferite lungimi de undă constituie un veritabil sondaj în profunzime al coroanei.

Concomitent, alte progrese tehnice au permis, mai recent explorarea din plin a spectrului solar în domeniul lungimilor de undă mici. La 10 octombrie 1946, o rachetă V_2 lansată de la White Sands (New Mexico) a transportat pentru prima oară un spectrograf deasupra straturilor atmosferice absorbante pentru ultraviolet. Din acel moment, aceste cercetări s-au extins foarte mult, astfel încît în prezent se cunosc detaliile spectrului solar ultraviolet pînă la joncţiunea cu radiaţiile X. Sateliţii au permis să se meargă mai departe, transmiţînd informaţii asupra radiaţiilor X şi γ.

Dar dacă cunoştinţele despre Soare s-au îmbogăţit în mod considerabil în toate sensurile — detalii morfologice, fenomene fizice şi evoluţia lor în timp, extinderea considerabilă a gamei frecvenţelor electromagnetice studiate — nimic, din aceste noi cunoştinţe, nu ne facem să credem că Soarele s-ar deosebi de alte stele, şi avem în continuare toate motivele să admitem că rezultatele obţinute trebuie să fie valabile şi pentru acele stele ale căror caracteristici globale sînt comparabile cantitativ cu cele ale Soarelui.

SOARELE, SURSĂ APROPIATĂ. RELAŢII ÎNTRE FENOMENELE SOLARE ŞI CELE TERESTRE. Omenirea, obişnuită să trăiască în cîmpul radiaţiei solare filtrată de atmosfera terestră, a putut să considere multă vreme Soarele ca o sursă cu debit perfect constant. Existenţa *petelor*, a căror importanţă variază în cursul ciclului de unsprezece ani recunoscut încă din secolul al XIX-lea, punea deja sub semnul întrebării această constanţă, iar legătura stabilită, în 1851, între această variaţie şi cea a oscilaţiilor diurne ale înclinaţiei cîmpului magnetic al Pămîntului reprezintă un prim exemplu de relaţie între fenomenele solare şi cele terestre.

Această relaţie, extinsă în 1903 de către E.W. Maunder (1851—1928), urmîndu-l pe S. Marchand, la cazul furtunilor magnetice legate de prezenţa unor pete în apropierea meridianului central al Soarelui, avea să conducă la noţiunea de *erupţie solară* însoţită de o emisie corpusculară atingînd Pămîntul după aproximativ o zi.

Dealtfel, chiar în acea epocă se năştea ideea că un alt fenomen terestru, aurora polară, ar putea fi manifestarea apariţiei acestor corpusculi în straturile înalte ale atmosferei, în prezenţa cîmpului magnetic terestru. Era tentant să se încerce reproducerea acestui fenomen prin devierea „razelor catodice" — descoperite recent — în cîmpul unui magnet sferic simbolizînd Pămîntul; este vorba de experienţele lui K. Birkeland (1867—1917) de prin 1910 cu *terella* sa, urmate de observaţii îndelungate şi de calculul lui C. Störmer (1874—1957). Totuşi, toate acestea au rămas mult timp încă în stadiul de ipoteză seducătoare.

Schema era de acum elaborată, iar vastul edificiu de doctrine care a urmat a păstrat-o. Căci — fapt remarcabil — fiecare dintre progresele tehnice, chiar cele care au urmat căi cu totul noi, a adus în acest domeniu date din ce în ce mai precise care de regulă s-au inserat în această schemă primitivă.

În ceea ce priveşte Soarele, larga folosire a spectroheliografului, după începutul secolului, sub impulsul lui G.E. Hale (1868—1938) şi al lui H. Deslandres (1853—1948), a pus în evidenţă partea *optică* a erupţiei. Extinderea, începînd din 1938, a observaţiilor cu ajutorul coronografului lui Lyot a permis observarea manifestării efectelor erupţiei în coroană, iar folosirea sistematică a monocromatorului său începînd din 1950 a dus la mărirea considerabilă a numărului de erupţii observate, în timp ce magnetografele puneau în evidenţă rolul primordial al cîmpurilor magnetice subiacente. Apoi, începînd din 1945, cercetarea sistematică a emisiei radioelectrice a Soarelui dezvăluia o varietate considerabilă de fenomene care marchează trecerea prin coroană a radiaţiilor electromagnetice şi corpusculare provenite din fotosferă sau din cromosferă, care traversează coroana înainte de a se propaga în spaţiul interplanetar.

Paralel, cunoaşterea efectelor terestre progresa în mod hotărîtor.

Încă din 1927, Mögel a constatat întreruperi bruşte în propagarea undelor scurte şi a semnalat legătura lor cu perturbaţiile magnetice, iar la 30 august 1935, pentru prima oară, Richardson de la Observatorul Mount-Wilson a remarcat simultaneitatea dintre o astfel de întrerupere şi o erupţie solară. Faptul a fost apoi confirmat şi studiat, în legătură cu proprietăţile ionosferei, de către numeroşi autori, printre care în Franţa R. Jouaust şi R. Bureau. Dar decalajul mic dintre erupţia solară şi efectul ionosferic indica o acţiune transmisă prin intermediul radiaţiei electromagnetice, şi nu al celei corpusculare. Numai radiaţiile ultraviolete cu lungimea de undă mică puteau să producă modificările în ionizarea atmosferei înalte responsabile de anomaliile de propagare: straturile mai joase ale atmosferei oprind complet aceste radiaţii, pentru un timp rămînea deci numai posibilitatea (avînd serioase motive pentru aceasta) de a li se postula existenţa.

Cam în aceeaşi perioadă se obţineau primele indicaţii cu privire la modularea unui flux corpuscular de către fenomenele solare, mulţumită înregistrărilor radiaţiei cosmice în care R. Forbush punea în evidenţă *scăderi* legate de furtunile magnetice, în timp ce uneori se observau creşteri bruşte care coincideau cu momentele de producere a erupţiilor solare. Şi mai directă şi decisivă este măsurarea de către Meinel, în 1950, a vitezei radiale a protonilor răspunzători de emisia liniilor hidrogenului în aurorele polare.

În sfîrşit, rachetele, sateliţii şi vehiculele spaţiale au fost larg utilizate, încă de la apariţia lor, pentru studierea fie a radiaţiei solare oprite de atmosfera terestră, fie a proprietăţilor mediului interplanetar la diferite distanţe de Pămînt. Două date merită să fie reţinute: la 13 martie 1959 o rachetă furniza prima imagine a Soarelui în radiaţia ultravioletă Lyman α, presupusă de multă vreme a fi principalul răspunzător de ionizarea atmosferei înalte a Pămîntului; la 20 august 1959 un satelit (Explorer VI) furniza pentru prima oară măsurători *in situ* la traversarea unui nor de corpusculi emişi în timpul unei erupţii solare.

Toate aceste ultime rezultate au contribuit mult la coerenţa diferitelor observaţii referitoare la relaţiile dintre fenomenele solare şi cele terestre. Acum se poate considera fără îndoială că necunoscut este mai degrabă procesul declanşării fenomenelor pe Soare decît evoluţia efectelor lor îndepărtate.

Totuşi, toate acestea se referă în esenţă la fenomene accidentale, care se situează pe o scară de timp de la cîteva minute la cîteva ore pe Soare, sau cîteva zile în cazul efectelor terestre. S-a pus uşor în evidenţă o repetare a unora dintre aceste fenomene după un interval de timp egal cu durata rotaţiei aparente a Soarelui (27 de zile). Această repetare este pusă în legătură cu noţiunea de *centru activ* pe suprafaţa Soarelui, adică cu o regiune a cărei situare periodică în centrul discului determină creşterea probabilităţii apariţiei fenomenelor terestre menţionate mai sus.

În sfîrşit, ce s-a întîmplat cu ideile întrevăzute în secolul trecut cu privire la fluctuaţiile cu perioadă mai lungă în influenţele asupra Pămîntului? Este clar că aceste fluctuaţii se datorează fluctuaţiilor numărului de centre active şi importanţei acestora, în cursul ciclului de unsprezece ani. Se regăseşte deci noţiunea introdusă de R. Wolf, numărul care îi poartă numele şi care este determinat, în mod convenţional, de numărul şi întinderea petelor solare vizibile. Dar este evident că petele, singurele forme vizibile ale centrelor de activitate cunoscute acum o sută de ani, sînt departe de a fi manifestările cele mai semnificative, şi dacă se continuă folosirea *numărului lui Wolf* aceasta se datorează numai lipsei unui indice mai sigur şi tot atît de simplu.

Dar, dintre numeroasele corelaţii care au fost căutate între acest număr a lui Wolf şi mărimile care intervin în fenomenele geofizice, fizico-chimice sau biologice cele mai diverse, nici una, chiar dintre cele mai proeminente—şi nu toate sînt astfel — nu a scos în evidenţă vreun fenomen de amploare. În prezent aceasta nu ne mai miră deoarece ştim că acţiunea Soarelui se exercită prin intermediul radiaţiilor electromagnetice sau corpusculare care nu ating straturile joase ale atmosferei, în care se petrec fenomenele studiate; efectele — care nu pot fi excluse apriori — asupra acestor straturi sînt cu necesitate amortizate în amplitudine şi extinse în timp.

Istoria acestor cercetări ar fi incompletă dacă nu am menţiona faptul că, datorită continuităţii observaţiilor pe care o pretind, ele au contribuit foarte mult la stabilirea unei cooperări ştiinţifice internaţionale. În 1904 G.E. Hale a creat Uniunea Solară Internaţională, devenită în 1919 Uniunea Astronomică Internaţională. În 1925, Consiliul Internaţional al Uniunilor Ştiinţifice a creat în plus o Comisie mixtă special pentru studiul acestor probleme. În sfîrşit, pentru perioada de la 1 iulie 1957 pînă la 31 decembrie 1958, perioadă cuprinzînd un maximum al activităţii solare, a fost hotărîtă organizarea *Anului Geofizic Internaţional.* Rezultatele obţinute au fost atît de promiţătoare, în special în domeniul relaţiilor Soare-Pămînt, încît el a fost mai întîi prelungit cu încă un an, iar apoi a condus la formarea unui Comitet Internaţional de Geofizică cu durata nelimitată; una dintre primele iniţiative ale acestui comitet a fost organizarea *Anului Internaţional al Soarelui calm,* în vecinătatea minimului activităţii solare din 1964—1965, în cursul căruia s-au putut individualiza mai bine efectele rarelor centre de activitate care au fost observate.

2. Sistemul solar

INVENTARIERE ŞI DIMENSIUNI. Domeniu de predilecţie al mecanicii cereşti în secolul al XIX-lea, Sistemul solar poate fi considerat încă din anul 1900 ca foarte binecunoscut atît în ceea ce priveşte mişcările corpurilor care îl compun cît şi însăşi această componenţă. Totuşi merită să fie subliniate cîteva etape istorice.

Aştrii descoperiţi în sistemul solar într-o jumătate de secol, lăsînd la o parte cometele al căror număr sporeşte în fiecare an, se împart în trei categorii. Cea mai numeroasă dintre ele este cea a micilor planete: în 1900 erau catalogate 449, iar în 1960 numărul lor ajunsese la 1647. Nu este nimic surprinzător în acest fapt dacă ne gîndim la perfecţionarea tehnicii fotografice; şi dealtfel aceasta nici nu aduce vreo schimbare importantă în ideile existente.

Mai interesanţi pentru teoriile cosmogonice pot fi noii sateliţi descoperiţi în jurul anumitor planete: mai întîi sateliţii îndepărtaţi ai lui Jupiter: cel de-al şaselea şi al şaptelea, descoperiţi în 1904 şi 1905 de către C.D. Perrine, al optulea (studiat în mod deosebit) descoperit în 1908 de M.J. Melotte şi cei patru descoperiţi de S.N. Nicholson respectiv în 1914, 1938 (al zecelea şi al unsprezecelea) şi în 1951. Apoi, cei descoperiţi de G.P. Kuiper în 1948 şi 1949, cel de-al cincilea satelit al lui Uranus, Miranda, mai apropiat de planetă decît ceilalţi patru cunoscuţi deja, şi cel de-al doilea satelit al lui Neptun, Nereida, situat dimpotrivă mult mai departe decît Triton.

În sfîrşit, unică în felul ei, planeta transneptuniană atît de căutată, atît de mult prezisă în toate punctele zodiacului, este în cele din urmă descoperită în 1930 de către C.W. Tombaugh şi botezată Pluton, pur şi simplu ca rezultat al atentelor „patrulări“ fotografice, împingînd astfel limita exterioară a sistemului solar pînă la o distanţă de aproximativ 40 de ori mai mare decît raza orbitei terestre.

În acelaşi timp s-au depus eforturi laborioase în vederea îmbunătăţirii cunoaşterii dimensiunilor absolute ale Sistemului solar[7]. Recenta folosire a tehnicilor radioelectrice trebuie să ducă la un progres considerabil în mărirea preciziei. Trebuie să subliniem că nu este nicidecum vorba de un efort îndreptat spre un scop speculativ: în prezent o hartă în *kilometri* cît se poate de precisă a Sistemului solar este la fel de necesară pentru pregătirea şi conducerea traseelor interplanetare pe cît era de necesară o hartă marină pentru navigatori în secolul trecut.

Dar marele avînt, declanşat la sfîrşitul secolului al XIX-lea, încetinit în prima jumătate a secolului al XX-lea şi care se desfăşoară într-un ritm fără precedent o dată cu începutul erei spaţiale, este orientarea spre cunoaşterea fizică a planetelor.

FIZICA PLANETELOR. În acest caz cuvîntului *fizică* trebuie să i se dea nu sensul limitat pe care îl ia în laborator sau în învăţămînt, ci sensul iniţial, cel mai larg: care este natura planetelor, din ce şi cum sînt ele alcătuite. Se poate chiar adăuga întrebarea: ce se petrece în interiorul lor? Aceasta, deoarece trebuie să subliniem că interesul purtat acestor obiecte cosmice de o sută de ani încoace a fost determinat de speranţele, fondate sau nu, de a regăsi în planete lumi mai mult sau mai puţin comparabile cu Pămîntul şi în ultimă instanţă, de a putea răspunde la marea întrebare a *pluralităţii lumilor locuite.*

Într-adevăr, nu încape îndoială că dacă anunţarea de către G.V. Schiaparelli în 1877 a descoperirii *canalelor* de pe Marte a constituit, prin tot ceea ce putea implica, un excepţional stimulent pentru observaţiile asupra planetelor, ritmul s-a încetinit mai tîrziu datorită neconfirmării perspectivelor întrevăzute, şi că progresele astronomiei planetare, deşi substanţiale, nu au fost comparabile, nici ca volum, nici ca profunzime cu cele ale astronomiei stelare. Dar o dată deschisă posibilitatea explorării directe într-un viitor destul de apropiat, necesitatea acestor observaţii devine stringentă: nici una dintre informaţiile care vor putea fi furnizate de observaţiile terestre nu va fi de prisos pentru pregătirea viitoarelor expediţii.

Din fericire, deşi controversate, concluziile lui Schiaparelli n-au provocat numai discuţii, dar şi observaţii noi, iar miza era atît de mare încît au fost înfiinţate în mod special observatoare şi cercetărilor planetare — extinse la Mercur, Venus, şi mai ales Jupiter şi Saturn — le-au fost afectate unele dintre cele mai mari instrumente existente. Astfel P. Lowell instalează la Flagstaff (Arizona) un refractor cu diametrul de 61 de cm, E.E. Barnard foloseşte refractorul de 91 de cm al Observatorului Lick (California), şi cel de 102 cm al Observatorului Yerkes (Wisconsin), iar E.M. Antoniadi pe cel de 83 de cm al Observatorului din Meudon.

Totuşi, aceste lucrări se referă mai mult la topografia detaliilor şi la variaţiile ei decît la identificarea substanţelor care compun atmosferele sau suprafeţele planetelor. La drept vorbind, W.M. Slipher, la Observatorul Lowell, a obţinut spectre ale planetelor, începînd din 1900, dar o acţiune susţinută în acest domeniu nu avea să-i furnizeze nici o particularitate identificabilă în spectrele planetelor Mercur, Venus şi Marte, iar în cele ale lui Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, dimpotrivă, apăreau benzi de absorbţie nete, dar de origine necunoscută pînă în 1930.

---

[7] Vezi în legătură cu aceasta studiul lui L. Lévy, pp. 314—315.

Abia în 1931 R. Wildt, bazîndu-se pe rezultate noi obţinute în laborator, a reuşit să arate că ele aparţin în esenţă amoniacului sau metanului. Cam în aceeaşi epocă, W.S. Adams şi T. Dunham la Observatorul Mount-Wilson, au pus în evidenţă benzile caracteristice gazului carbonic în atmosfera lui Venus. Dezvoltarea acestor cercetări spectroscopice, şi mai ales extinderea lor la infraroşul apropiat de către G.P. Kuiper după cel de-al doilea război mondial, au dus în special la confirmarea rezultatelor obţinute şi la fixarea limitelor superioare ale conţinuturilor atmosferelor planetare în unul sau altul dintre gaze — fără a le detecta însă. Dacă, în ceea ce priveşte planeta Marte, căutarea clorofilei a dezamăgit aşteptările, trebuie totuşi notată descoperirea, în 1959, de către W. Sinton a benzilor din infraroşu caracteristice radicalului CH din moleculele organice.

O altă cale extrem de fecundă a fost deschisă însă de B. Lyot care, după punerea la punct în 1923 a unui polarimetru de mare sensibilitate, a reuşit să studieze variaţia polarizării luminii difuzate în funcţie de unghiul de vizare, atît pentru suprafeţele planetare cît şi pentru diferite substanţe terestre, şi să stabilească în felul acesta apropieri între ele. Folosirea acestei tehnici, împreună cu căutarea condiţiilor pentru o bună definire a imaginii, de care B. Lyot s-a ocupat foarte mult începînd din 1941, avea să-i furnizeze lui A. Dollfus rezultate numeroase şi detaliate în privinţa lui Marte, şi din 1950 o evaluare a atmosferei lui Mercur ca reprezentînd trei miimi din atmosfera terestră.

Conjugate, observaţiile spectroscopice şi polarimetrice au putut să furnizeze evaluări ale densităţilor atmosferice şi ale temperaturilor de la suprafaţă. Destul de coerente pentru Marte, rezultatele sînt mai nesigure pentru Mercur, Venus, Jupiter, Saturn. Măsurătorile radiaţiei radioelectrice, nu fac decît să amplifice dezacordurile, dacă nu cumva scot la iveală chiar o emisie proprie netermică încă neexplicată (Jupiter, 1957).

Bineînţeles, în urma descoperirilor astronomiei şi fizicii, s-au dezvoltat ipoteze noi cu privire la formarea Sistemului solar. Teoriile bazate pe ciocniri, susţinute încă de către J. Jeans, au mai pierdut în continuare teren în favoarea teoriilor care dezvoltă, într-o formă mai elaborată decît în trecut, ipoteza condensării planetelor plecînd de la o materie difuză, cum ar fi teoriile propuse în 1943 de C.F. von Weizsäcker şi în 1948, de O. Schmidt[8].

Aceasta era situaţia la 12 februarie 1961, în momentul lansării rachetei *Venusik*, primul vehicul destinat studiului planetelor situate la mică distanţă. Putem fi siguri că anii care vor veni vor aduce, datorită unei puternice tehnologii aflate în curs de realizare, rezolvarea directă şi fără ajutorul ipotezelor a unora dintre enigmele care au frămîntat generaţii întregi de astronomi ţintuiţi de Pămînt.

---

[8] Cu privire la acest subiect vezi studiul lui P. Couderc, pp. 593—595.

3. Luna

Ceea ce determină interesul purtat cercetările planetare este încă şi mai important pentru Lună. Foarte bine studiată în secolul al XIX-lea în privinţa mişcărilor sale, suficient observată în detaliile sale pentru a justifica convingerea că pe solul său nu se întîmplă nimic deosebit şi că pornind de aici nu se pot obţine informaţii care să poată fi generalizate şi la alte probleme, ea a rămas multă vreme unul dintre aştrii cei mai părăsiţi de astronomi. Singura mare acţiune care a fost întreprinsă — pînă la dezvoltările mai recente — este constituirea *Atlasului fotografic* realizat din 1896 pînă în 1910 de către M. Loewy şi P. Puiseux. Într-adevăr o muncă strălucită, a cărei utilitate nu pare să fi fost însă pe măsura eforturilor depuse. Şi singura descoperire demnă de semnalat în ceea ce priveşte suprafaţa Lunii este identificarea, în 1926, de către B. Lyot, a curbei de polarizare, cu cea a cenuşii vulcanice.

Dar curînd după terminarea celui de-al doilea război mondial a devenit clar că în scurt timp se va putea ajunge pe Lună, producîndu-se astfel o răsturnare absolută a situaţiei. Astronomi, chimişti, geologi, cartografi au început să trateze problema într-o perspectivă total diferită de cea a altor probleme astronomice, cu dorinţa expresă de a căuta să afle ce se va găsi pe Lună atunci cînd se va ajunge acolo, folosindu-se bineînţeles mijloace materiale total diferite de cele consacrate în acest domeniu. Totodată au renăscut controversele privind formarea şi constituţia internă a Lunii, precum şi cele referitoare la originea circurilor şi craterelor lunare: vulcanică sau meteorică? Balanţa pare a se înclina astăzi spre cea de-a doua ipoteză.

În acelaşi timp, atenţia se concentrează asupra anumitor observaţii neglijate, sau asupra celor care pot fi furnizate prin utilizarea unor tehnici noi. Din ocultarea sursei radioelectrice din nebuloasa Crab, se obţine o limită superioară extrem de joasă — o zecime de miime de miliardime din cea a atmosferei terestre — pentru densitatea atmosferei lunare (1956). Din măsurători polarimetrice şi radiometrice în diverse lungimi de undă (mai ales centimetrice şi decimetrice începînd din 1959), s-au obţinut informaţii privind structura microscopică şi macroscopică a suprafeţei Lunii. S-a reluat cercetarea unei luminiscenţe a solului lunar, invocată anterior cu mai mult sau mai puţin temei. În sfîrşit, un eveniment cu totul deosebit, la 3 noiembrie 1958 o observaţie spectroscopică a lui N.A. Kozîrev indică luminiscenţa unui gaz carbonat emis într-un jet temporar la nivelul piscului central din circul *Alphonse*. Aceasta reprezintă prima dovadă certă asupra existenţei în Lună a unui fenomen cu evoluţie rapidă.

Între timp, previziunile se confirmă: în 1959, la 2 ianuarie, racheta Lunik I a trecut foarte aproape de Lună şi devine prima planetă artificială a sistemului solar, după ce a transmis măsurători ale radiaţiei pe tot traseul său şi măsurători ale cîmpului magnetic în vecinătatea Lunii; la 13 septembrie, racheta Lunik II a atins Luna, iar la 4 octombrie a fost lansat Lunik III care a fotografiat faţa Lunii invizibilă de pe Pămînt, şi a retransmis fotografiile cîteva zile mai tîrziu. Se poate deci spune că Luna a încetat să mai aparţină lumii astronomilor pentru a deveni periferia Pămîntului.

F. SPECTROSCOPIA

Inventarea fotografiei și punerea în funcțiune a spectrografelor astronomice la sfîrșitul secolului al XIX-lea au permis analizarea spectrelor stelelor și ale nebuloaselor.

Foarte schematic, se poate spune că pe la 1900 se știa că cele mai multe stele aveau spectre continue, brăzdate de linii de absorbție și că aceste spectre erau destul de asemănătoare cu cel al Soarelui. Identificarea majorității acestor linii spectrale fusese făcută de astronomii care se ocupau de fizica Soarelui și fusese deja abordată problema transpunerii acestor rezultate la spectroscopia stelară. Astronomii începuseră să claseze spectrele stelare. Măsuraseră, de asemenea, primele viteze radiale stelare și descoperiseră stelele duble spectroscopice.

Nebuloasele „albastre" prezentau linii de emisie: astronomii se loviseră de imposibilitatea de a identifica faimoasele linii ale „nebulium"-ului și această problemă i-a tracasat timp de mai multe decenii. Bazele spectroscopiei stelare fuseseră așadar puse dar abia de acum urma munca propriu-zisă. Rezultatele obținute de la începutul acestui secol sînt magnifice.

CLASIFICĂRI SPECTRALE. După primele observații ale lui Secchi (vol. III, 1, p. 155), s-a trecut la clasificarea spectrelor pentru foarte multe stele. S-a constatat mai întîi că exceptînd cîteva cazuri particulare, mulțimea spectrelor putea fi clasată într-un număr mic de categorii. Prin 1900, diferitele clasificări propuse convergeau lent și s-a căzut de acord să se păstreze seriile spectrale propuse în 1901 de Miss A.C. Maury și Miss A.J. Cannon, adoptîndu-se nomenclatura celei din urmă (vol. III, 1, p. 155), celebra listă spectrală de la Harvard:

$$\begin{array}{ccccccc} &&&&&&S\\ O&B&A&F&G&K&M\\ &&&&&R&N\end{array}$$

Succesul acestei clasificări se datorează faptului că ea este ordonată după temperaturile descrescătoare. Acest fapt, evidențiat deja la acea epocă, era ilustrat de variația culorii stelelor care sînt albastre la începutul seriei, apoi albe și la sfîrșit roșii. Dar această legătură între tipul spectral și temperatura atmosferei nu a fost stabilită decît douăzeci de ani mai tîrziu, atunci cînd fizicianul Megh Nad Saha a putut să interpreteze spectrele aplicînd legile echilibrului chimic la atmosferele stelare, compușii chimici clasici fiind înlocuiți de atomi și electroni.

Spectrograful cu fantă este un instrument precis dar lent și, chiar de la începuturile spectrografiei, s-a simțit necesitatea unui alt instrument pentru a putea face un studiu statistic al spectrelor stelare. Acest domeniu de cercetare a fost deschis prin punerea în funcție a prismelor obiective, la sfîrșitul secolului trecut. Aceste instrumente, formate dintr-o prismă cu unghi mic așezată în fața unui obiectiv fotografic, permit să se obțină simultan spectre ale unui număr foarte mare de stele a căror clasificare devine astfel posibilă. Importanţa acţiunii întreprinse va fi pusă în evidenţă prin cîteva date. Catalogul de la Harvard, editat în onoarea fizicianului Henry Draper, publicat începînd din 1918, conţinea, cu completările sale, 272 150 de spectre[9]. Numărul spectrelor clasate poate fi estimat astăzi la mai mult de 700 000.

Numeroase studii statistice au permis să se precizeze repartiţia stelelor după tipuri spectrale. Aşa s-a constatat că stelele O şi B sînt extrem de rare şi că practic toate sînt concentrate în apropierea Căii Lactee, în timp ce în apropierea polului, cel mai des întîlnite sînt stelele de la sfîrşitul seriei.

DIAGRAMA HERTZSPRUGN-RUSSELL. În timp ce unii observatori se consacrau clasificării spectrelor cu dispersie mică, alţii, dimpotrivă, au studiat spectrele mai dispersate şi au ajuns la noi descoperiri. W.S. Adams şi A. Kohlschütter au arătat în 1914 că există diferenţe spectrale sensibile între stelele cu mişcări proprii mici şi cele cu mişcări proprii mari. Pentru stelele din primul tip, spectrul este mai puţin intens în violet; dimpotrivă anumite linii, în special cele ale hidrogenului ca şi unele linii metalice, sînt mai puternice în spectrele stelelor din tipul al doilea. S-a văzut imediat că diferenţa se explică nu prin valoarea mişcării proprii, ci prin faptul că stelele cu mişcări proprii mari sînt apropiate de Soare, în timp ce stelele din cealaltă clasă sînt, în medie, îndepărtate de Soare. Şi dacă acestea din urmă ne apar totuşi ca avînd aceeaşi strălucire aparentă, aceasta se datorează faptului că ele sînt, în realitate, mult mai strălucitoare intrinsec decît stelele cu mişcări proprii mari. Apoi, s-a dovedit că stelele strălucitoare sînt şi mult mai voluminoase, ceea ce justifică numele de „gigante“, dat de către Hertzsprung. Celelalte, „piticele“ sau stelele din secvenţa principală, sînt efectiv de dimensiuni mult mai reduse. Relaţia dintre strălucirea intrinsecă a stelelor şi raportul intensităţilor anumitor linii bine alese era atît de netă încît Adams a putut să se servească de ea în 1916 pentru a determina strălucirea proprie a stelelor şi, prin comparaţia cu strălucirea aparentă, distanţele stelelor. Această metodă, cunoscută sub numele de *metoda paralaxelor spectroscopice*, permite determinarea distanţelor stelelor situate la o depărtare de mai multe mii de parseci, în timp ce metodele trigonometrice nu permit să se atingă decît 200 de parseci. Ea a fost justificată şi explicată de teoria lui Saha. Această teorie arată într-adevăr că dacă temperatura atmosferei stelare este factorul determinant pentru clasa spectrală, presiunea din atmosferă nu e lipsită de influenţă asupra intensităţii liniilor. Or, acest ultim element este de cîteva mii de ori mai puternic pentru pitice decît pentru gigante.

De fapt, descoperirea de către astronomul danez Ejnar Hertzsprung, în clasele K şi M, a două tipuri de stele de luminozităţi absolute foarte diferite numite de el „gigante“ şi „pitice“, fără a face totuşi ipoteze asupra dimensiunilor lor, datează din anii 1905 şi 1907. Această descoperire, trecută aproape neobservată la început, a fost confirmată în 1913 de astronomul american H.N. Russell care a avut ideea de a aşeza pe o diagramă mai multe sute de stele, trecînd pe abscisă tipul spectral, iar pe ordonată magnitudinea absolută, adică strălucirea intrinsecă. El a constatat că majoritatea stelelor se situau sensibil pe o linie diagonală, indicînd astfel că pentru aceste stele există o relaţie bine definită între cele două mărimi luate pe axe, tipul spectral şi strălucirea absolută. Soarele se situa şi el pe această diagonală. Dimpotrivă, numeroase stele din ultimele tipuri spectrale se situau pe o linie sensibil orizontală, corespunzînd magnitudinii absolute 0. Acestea din urmă sînt gigantele; cele de pe diagonală sînt stelele pitice din secvenţa principală. Această „diagramă Hertzsprung-Russell“ s-a dovedit a fi una din marile achiziţii ale astrofizicii acestui secol.

---

[9] Lucrarea *Henry Draper Catalogue* propriu-zisă a apărut în 9 volume, din 1918 pînă în 1924. Ea conţine 243 000 de spectre, referitoare la 225 300 de stele. Cele şase volume supliment (Henry Draper Extension) publicate din 1925 pînă în 1936, dau spectrele a 46 850 de stele.

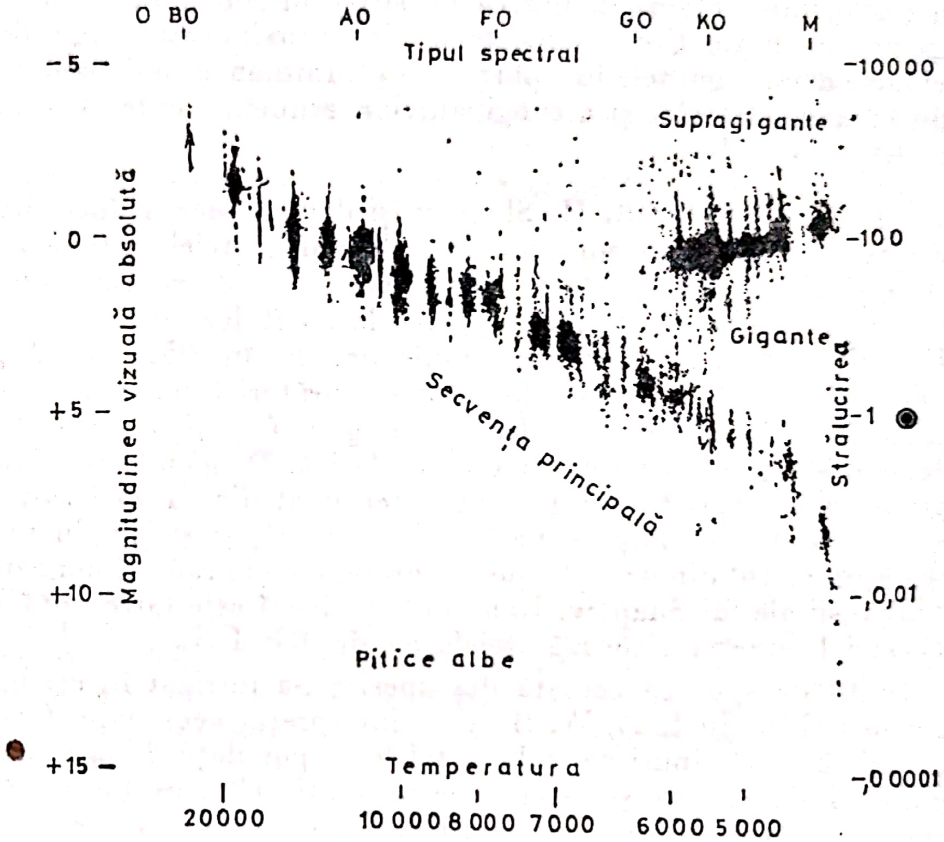


FIG. 30 DIAGRAMA HERTZSPRUNG-RUSSELL

Poziţia fiecărei stele este dată pe abscisă de temperatura sa la suprafaţă (care corespunde culorii sale dominante) şi pe ordonată de luminozitatea sa (luminozitatea Soarelui este luată ca unitate). Stelele galbene şi stabile constituie secvenţa principală (după O. Struve).

Diagrama H-R a fost completată prin descoperirea a două tipuri noi de stele. În 1914, Adams a semnalat că companionul lui Sirius trebuie să fie o stea albă foarte fierbinte şi nu una roşie şi rece, cum s-ar fi putut crede după strălucirea sa. Acest fapt a fost definitiv confirmat de către acelaşi astronom graţie unor spectre obţinute cu ajutorul marelui telescop de la Mount-Wilson. Astăzi cunoaştem cîteva sute de stele de acest tip. Ele sînt, probabil, stele foarte obişnuite în Univers. Materia lor este extrem de densă, un fel de conglomerat de nuclee fără spaţii vide, de 100 000 de ori mai densă decît materia obişnuită. Această „materie degenerată“ este explicată de teoriile moderne (Bose şi Einstein). Aceste stele se situează în colţul din stînga jos al diagramei, şi astăzi se consideră că există o secvenţă completă paralelă cu secvenţa principală. Diagrama a fost completată şi în partea de sus printr-un anumit număr de „supragigante“ de toate tipurile spectrale, de aproximativ o mie de ori mai strălucitoare decît gigantele îndepărtate. Alte rafinamente de detaliu au impus introducerea subpiticelor şi a subgigantelor, reducînd astfel din simplitatea iniţială a diagramei H-R.

EVOLUŢIA STELELOR. H. Shapley îşi dăduse seama, încă din 1920, că stelele din roiurile globulare nu erau aştri obişnuiţi. Stelele cele mai strălucitoare sînt stele roşii, dar s-a constatat că nu este vorba de gigante sau de supragigante normale, pentru că ele nu se aşezau la locul lor obişnuit în diagrama H-R. Lucrul acesta a fost confirmat mult mai clar în 1952, cînd Arp, Baum şi Sandage au reuşit să traseze, folosind măsurători fotometrice foarte precise, diagramele H-R ale mai multor roiuri globulare şi să constate că nu prezintă decît o slabă analogie cu diagrama clasică. Diagonala continuă să existe, dar partea ei inferioară este greu de determinat din cauza strălucirii prea slabe a acestor stele, în timp ce partea superioară pur şi simplu nu există. Dimpotrivă, în colţul din dreapta sus se întîlnesc două ramuri noi care corespund stelelor roşii ale lui Shapley. Ramura superioară este întreruptă şi în vecinătatea acestei lacune se situează stelele de tip RR Lyrae.

Inutil de spus că această descoperire i-a intrigat în cel mai înalt grad pe astrofizicieni. În 1944, W. Baade a interpretat acest fapt făcînd presupunerea că există două tipuri de stele: „stelele de populaţie I“ care se situează pe diagrama H-R clasică şi „stelele de populaţie II“ care formează diagrama roiurilor globulare. În diferitele reviste s-a deschis o discuţie extrem de interesantă care a condus la o teorie foarte precisă a evoluţiei stelelor: deosebirea principală dintre cele două populaţii este vîrsta: populaţia I este cea mai tînără, populaţia II fiind cea mai bătrînă. O serie de teorii, dezvoltate mai ales de către M. Schwarzschild în Statele Unite şi de către F. Hoyle în Marea Britanie, permit să se arate modul în care stelele albastre şi tinere ajung să se îndepărteze rapid în cursul îmbătrînirii lor de secvenţa principală pentru a se plasa pe ramura gigantelor roşii din diagrama roiurilor, stelele mai puţin masive din partea inferioară a ramurii evoluînd mult mai lent. Se ajunge să se explice astfel trecerea de la o diagramă la alta şi se pot data roiurile după poziţia stelelor în diagrama H-R. Cel mai vechi este M 67 a cărui vîrstă este de mai multe miliarde de ani.

Această teorie, în plin proces de edificare, are încă multe de explicat, dar succesele sale sînt de acum senzaţionale. Este probabil că ea va permite să se înţeleagă condensarea stelelor pornind de la materia interstelară (stele T Tauri); ea va permite poate să se explice şi degenerarea definitivă a stelelor în „pitice albe“.

„LINIILE NEBULIUM"-ULUI. Examinarea vizuală cu ajutorul spectroscopului permisese descoperirea cîtorva linii de emisie intense pentru care laboratorul nu furniza nici un echivalent. În 1864, W. Huggins a descoperit cele două linii, cele mai intense din regiunea verde a spectrelor nebuloaselor la lungimile de undă de 4969 şi 5007 Å. Această descoperire a fost urmată în 1868 de descoperirea unei linii galbene de origine necunoscută, în spectrul Soarelui şi, în 1869, de cea a unei linii verzi (5003 Å) în spectrul coroanei solare. Cum ele nu puteau fi atribuite unor elemente cunoscute, au fost inventate nebulium-ul, heliul şi coronium-ul. În 1895, W. Ramsay a arătat că heliul există în atmosfera terestră şi, începînd din 1905, acest gaz a putut fi extras chiar dintr-o sursă naturală.

Această descoperire i-a stimulat pe astronomi şi pe fizicieni în cercetările lor privind celelalte două elemente.

Să vedem ce s-a întîmplat cu nebulium-ul. O serie de măsurători au permis să se determine lungimile de undă cu o mare precizie. S-a dovedit că cele două linii trebuiau să fie emise de acelaşi atom. Măsurători ale lărgimii liniilor au arătat (Ch. Fabry şi H. Buisson) că atomul acela trebuia să fie uşor şi s-a anticipat chiar greutatea atomică 3, ceea ce îl plasa între hidrogen şi heliu. Dar evenimentele care au urmat au arătat că nu era disponibil nici un loc în această parte a tabelului lui Mendeleev şi problema a rămas deschisă. Cel mult putem aminti că Russell a semnalat în 1919 că emiţătorul trebuie să fie un atom uşor, plasat în condiţii irealizabile în laborator, într-un vid atît de înaintat încît este imposibil de obţinut într-o incintă închisă.

Această problemă şi-a găsit rezolvarea abia în 1928 într-o publicaţie a lui J. S. Bowen. Bazîndu-se pe propriile sale lucrări spectrografice ca şi pe cele ale lui Croze şi Mihul (1927) şi A. Fowler, el a demonstrat că ideea lui Russell era corectă şi că radiaţia provenea de la tranziţia între diferitele stări ale atomului de oxigen de două ori ionizat O^{++}. Nu era vorba de tranziţii permise în mod normal, ci de treceri între o stare metastabilă a atomului O^{++} şi o altă stare, normală. Aceste stări metastabile nu se dezactivează decît foarte lent prin emisia spontană de linii interzise. În laborator ciocnirile atomilor între ei sau de pereţii incintei distrug starea metastabilă înainte de emisia spontană: nu este deci posibil ca liniile să fie observate. Dar observaţii în ultravioletul îndepărtat şi anumite calcule teoretice permit să se prevadă energia acestor stări metastabile. Este tocmai ceea ce a făcut Bowen, putînd anunţa într-o lucrare celebră nu numai identificarea celor două linii ale nebulium-ului pe care le-a atribuit atomului ionizat O^{++}, ci şi identificarea a numeroase alte linii, printre care cele situate la 6548 şi 6584 Å pe care le-a putut atribui atomului N^{+} şi cele de 3727—3729 atribuite atomului O^{+}. El a rezolvat complet problema; un articol publicat în 1935 i-a permis să explice chiar şi intensităţile anormale ale anumitor linii.

Frumoasa moarte a nebulium-ului a fost urmată cincisprezece ani mai tîrziu (1942) de cea a coronium-ului ale cărui linii au fost identificate de B. Edlén cu liniile interzise ale atomilor metalici puternic ionizaţi (Fe XIII, Fe XIV, Ni XIII etc.)

Aceste studii au arătat o mare omogenitate a Universului. N-a fost găsit nici un element nou, au fost semnalate numai cîteva abundenţe anormale; de exemplu abundenţa pămînturilor rare sau a tehneţiului în cîteva stele particulare. Raportul izotopilor $^{13}C/^{12}C$ pare foarte diferit pentru anumite stele carbonice şi lucrul acesta pare a fi în legătură cu reacţiile nucleare din aceste stele. Iată de ce spectroscopia rămîne şi în prezent un admirabil instrument indispensabil astronomiei. De fapt, din spectroscopie s-a născut toată astrofizica modernă.

G. FOTOMETRIA ŞI COLORIMETRIA

1. Fotometria stelară

Fotometria astronomică are ca scop esenţial măsurarea strălucirilor stelare sau a iluminărilor produse de aştri într-un plan normal pe direcţia razelor. Este vorba de o mărime fundamentală pentru astronomia stelară şi pentru astrofizică. Într-adevăr, din strălucirea stelară se obţine intensitatea luminoasă a stelelor apropiate, cărora li se cunoaşte bine distanţa. Şi invers, se deduce distanţa stelelor îndepărtate (ţinînd seama, dacă este cazul, de absorbţia radiaţiilor în spaţiu), în momentul în care s-a putut evalua aproximativ intensitatea luminoasă a acestora din studiul liniilor spectrale. În vederea acestor aplicaţii, în care mai intervin şi alţi factori de incertitudine, în general este suficient să se măsoare strălucirile stelare cu o aproximaţie de 10%. Studiul anumitor stele variabile, ca şi măsurătorile colorimetrice efectuate asupra a cel puţin două regiuni spectrale presupun însă o foarte mare precizie.

Strălucirile stelare E sînt evaluate în scara logaritmică a magnitudinilor m, definită prin relaţia lui Pogson: $m = -2{,}5 \log E + k$ unde k este o constantă a cărei valoare este fixată arbitrar, atribuind o magnitudine determinată unei stele luate ca etalon. De exemplu, în sistemul vizual folosit la Harvard stelei λ Ursae Minoris, aflată în apropierea polului ceresc Nord, i se atribuie magnitudinea $+6{,}55$. Această alegere, ca şi cea a factorului $-2{,}5$ din relaţia lui Pogson, permite să se regăsească magnitudini care diferă cu puţin de „mărimile" pe care le atribuiseră vechii astronomi stelelor strălucitoare înainte de orice măsurătoare fotometrică.

METODELE VIZUALE. La începutul secolului al XX-lea, măsurătorile sînt încă aproape în exclusivitate vizuale şi se fac prin egalizarea imaginilor punctuale. Cînd este vorba de studierea unei stele variabile, avem interesul să o comparăm cu o stea de strălucire constantă vizibilă în acelaşi timp în cîmpul instrumentului de observaţie. Dar pentru a face un catalog de magnitudini care să cuprindă stele îndepărtate unele de altele pe sfera cerească, trebuie ca fiecare dintre ele să fie comparată fie cu o aceeaşi stea de referinţă, fie cu o stea artificială.

Fotometrul cu imagine dublă al lui Pickering (1879) este foarte potrivit pentru compararea a două stele vecine. În faţa planului focal al obiectivului are o prismă birefringentă care dă, pentru fiecare stea, două imagini luminate în mod egal, polarizate în unghi drept. Imaginea ordinară a uneia dintre stele este adusă în apropierea imaginii extraordinare a alteia și se egalizează strălucirile lor cu ajutorul unui nicol așezat în spatele ocularului. Pentru a întocmi un catalog, Pickering a construit, pe același principiu, un aparat mai complicat (fotometrul meridian), cu ajutorul căruia se compară succesiv toate stelele, în momentul în care trec la meridian, cu o aceeași stea din vecinătatea polului ceresc. Dar, cum distanțele zenitale sînt diferite, observațiile trebuie să fie corectate cu grijă pentru absorbția atmosferică.

Cel mai mare catalog fotometric (*Harvard Revised Photometry* și *Supplement*-ul său, 1908), care conține mai mult de 46 000 de stele, a fost constituit pornind de la observațiile făcute la Harvard și, pentru emisfera sudică, la Aréquipa (vezi vol. III, 1, pp. 154—155). Cu doi ani mai înainte, Müller și Kempf terminaseră catalogul de la Potsdam (*Potsdamer Durchmusterung*) referitor la stelele emisferei boreale mai strălucitoare decît magnitudinea 7,5. Autorii folosiseră fotometrul devenit deja clasic al lui Zöllner (1861), la care fiecare stea este comparată cu o aceeași stea artificială a cărei strălucire este variată cu ajutorul unor polarizori. Precizia acestor cataloage este mediocră: la erorile sistematice care depășesc zecimea de magnitudine, și care depind de strălucirea și de culoarea stelelor, se adaugă erori accidentale de același ordin de mărime. În realitate precizia de o zecime nu este efectiv atinsă și nu sînt rare chiar abateri de 50%. Această precizie a fost ameliorată mai tîrziu printr-o cunoaștere mai exactă a dificultăților prezentate de fotometria surselor punctiforme văzute prin atmosferă.

Cele mai multe dintre aparatele construite în continuare nu diferă de cele precedente decît prin cîteva perfecționări tehnice. *La fotometrul cu ochi de pisică* al lui Danjon (1926), care reprezintă un tip nou, luminozitatea stelei celei mai strălucitoare este redusă prin intermediul unei diafragme pătrate de arie variabilă. Acest fotometru poate fi folosit în aceleași scopuri ca cel al lui Pickering și permite, în plus, compararea unor stele de magnitudini foarte diferite.

Mult timp nu s-a acordat o atenție suficientă corecțiilor de absorbție atmosferică. Variabilă cu lungimea de undă, cu distanța zenitală a stelelor și cu locul de observație, această absorbție prezintă în plus schimbări importante de la o noapte la alta, și uneori de la o oră la alta. Mult prea adesea absorbția a fost evaluată numai cu ajutorul tabelelor de absorbție medie, întocmite o dată pentru totdeauna, cum ar fi cele ale lui Müller pentru Potsdam, și fără îndoială că această corecție prea rigidă este responsabilă de abaterile cele mai mari ale cataloagelor. Singurul procedeu cu adevărat corect, dar foarte laborios, constă în studierea noapte de noapte a variațiilor absorbției în funcție de distanța zenitală, după metoda stabilită de Bouguer în secolul al XVIII-lea, atunci cînd a pus bazele întregii fotometrii.

Celelalte surse de erori sînt de natură fiziologică. Influența culorii stelelor decurge din fenomenul Purkinje; ea este eliminată, practic, prin suprimarea, cu ajutorul unui filtru portocaliu, a lungimilor de undă inferioare valorii de 0,454 μ. Ca urmare a inegalităților locale în sensibilitatea retinei, rezultatul comparării fotometrice a două puncte luminoase depinde și de poziția lor reciprocă. Variabil esențial de la un observator la altul, acest fenomen, descoperit de Cerasky (1890), antrenează după sine erori sistematice al căror ordin de mărime este de la una la două zecimi de magnitudine. Se încearcă eliminarea acestui efect prin inversarea poziției celor două puncte la jumătatea fiecărei serii de punctări.

Egalizarea fotometrică a unor imagini punctuale este o operaţie destul de puţin precisă. Cele mai bune măsurători făcute de Danjon cu fotometrul Pickering şi cu fotometrul cu ochi de pisică prezintă, pentru o punctare, o abatere pătratică medie de ± 0,097 magnitudini, adică 9% (calculată pornind de la 1000 de punctări asupra aceleiaşi stele). Este adevărat că, abaterile fiind distribuite după o lege de tip Gauss, precizia rezultatelor poate fi ameliorată luînd media unui număr mare de punctări.

Ochiul recunoaşte cu mai multă exactitate egalitatea a două plaje luminoase alăturate, de aceeaşi nuanţă. Era deci interesant să se aplice la studiul stelelor *strălucitoare* o tehnică verificată în laborator.

La anumite fotometre cu *imagini extrafocale*, se viza cu ocularul o secţiune a fasciculului stelar, la o anumită distanţă de focarul obiectivului. Este mai bine să se aplice metoda plajelor pupilare, ca la *fotometrul universal fără ecran difuzant* al lui Fabry şi Buisson (1920). Aşezat în focarul unui obiectiv şi primind pe pupilă imaginea unei stele, ochiul vede obiectivul luminat uniform. Alături se aşază o plajă de comparaţie, reglabilă: fie o suprafaţă care reflectă fasciculul provenit de la o sursă aproape punctuală, fie o suprafaţă difuzantă iluminată uniform. Precizia punctărilor, care este puţin afectată de turbulenţa atmosferică, nu scade decît lent cu luminanţa plajelor. Cu fotometrul lui J. Dufay (1930), în lumină verde, distribuţia a 555 de punctări asupra unei aceleiaşi stele a dat o abatere medie pătratică de ± 0,027 magnitudini (2,5%). Prin urmare 6 pînă la 10 punctări duc astfel la o aceeaşi precizie ca o sută de egalizări de imagini punctuale.

METODELE FOTOGRAFICE. Fotometria stelară fotografică, care s-a dezvoltat rapid din 1900 pînă în 1912, oferă, printre alte avantaje, posibilitatea de a studia stele mai slabe şi, adeseori, de a determina, pe un acelaşi clişeu, magnitudinile unui mare număr de stele. Se foloseau — şi se folosesc încă — plăci numite „ordinare“ a căror sensibilitate se întinde de la ultraviolet la albastru-verde. Măsurătorile fotografice se fac deci la lungimi de undă mai mici decît în cazul măsurătorilor vizuale, aşa încît diferenţa de magnitudine între două stele de culori diferite nu este aceeaşi pentru placă şi pentru ochi. „Zero“-ul scării fotografice a fost fixat prin regula lui Pickering: stelele albe de tip spectral A0, de magnitudine cuprinsă între 5,5 şi 6,5 trebuie să aibă, în medie, aceleaşi magnitudini fotografice şi vizuale.

O măsurătoare de fotometrie fotografică comportă de obicei două operaţii distincte: măsurarea opacităţii regiunilor impresionante de pe placă şi construirea curbei de înnegrire care leagă opacităţile de iluminări. Este însă imposibil să se facă măsurători ale opacităţii în interiorul petelor foarte mici pe care le dau stelele pe placă, în focarul unei lunete sau al unui telescop. Aşa încît deseori dificultatea a fost ocolită extinzînd în mod artificial imaginile stelare.

K. Schwarzschild folosea încă din 1900 o casetă mobilă care imprima plăcii, în timpul expunerii, o serie de mici deplasări, astfel încît fiecărei stele să-i corespundă o plajă pătrată destul de uniformă (*schraffierkassette*); el s-a folosit de această tehnică pentru a întocmi catalogul relativ la stelele cuprinse între declinaţiile 0° şi +20° (*Göttinger Aktinometrie*, 1910—1912). Este însă mult mai simplu să se aşeze placa puţin în faţa sau puţin în spatele planului focal, aşa încît toate stelele să dea pete circulare de acelaşi diametru, dar de opacităţi diferite. Prin acest procedeu, foarte des folosit, Parkhurst a obţinut o precizie de cîteva sutimi de magnitudine (*Yerkes Actinometry*, 1912) în studiul a 660 de stele situate între Polul Nord şi declinaţia +73°. Dar multe obiective dau plaje extrafocale inutilizabile din cauza lipsei de uniformitate. Dimpotrivă, imaginea obiectivului unui refractor, dată de un obiectiv cu distanţă focală mică, este totdeauna uniform luminată (Ch. Fabry, 1910). Aplicată destul de tîrziu la observarea stelelor variabile, această *metodă a cercului ocular* a condus la o precizie de ± 0,02 magn.

Cum extinderea imaginilor stelare măreşte mult durata expunerilor, măsurătorile asupra stelelor slabe trebuie să se facă pe imaginile focale. Pentru un timp de expunere constant, diametrul imaginilor creşte cu strălucirea stelelor (şi în acelaşi timp opacitatea medie) (Bond, 1858). Dacă magnitudinile cîtorva stele din cîmp sînt dinainte cunoscute, se poate trasa o curbă de interpolare care să lege magnitudinile de diametre, dar precizia este deseori mediocră, căci creşterea diametrului în funcţie de strălucire este lentă. Metoda lui de Schilt (1924) a condus la un progres foarte important. Pe un clişeu, se luminează un cerc al cărui diametru este apropiat ca valoare de cel al imaginilor stelare cele mai mari şi se măsoară, cu un termocuplu sau cu o celulă fotoelectrică, fluxul transmis prin cercul iluminat. Este şi mai bine dacă se proiectează pe placă, aşa cum se face astăzi, imaginea unei diafragme iris, a cărei deschidere este variată pentru a aduce de fiecare dată fluxul transmis la o aceeaşi valoare. Precizia poate atinge astfel 3% şi poate să rămînă acceptabilă pe un interval de magnitudini întins.

Cînd se folosesc plajele lărgite, etalonarea fotometrică poate fi făcută fie folosind stelele, fie în laborator, unde dispunem de procedee de reducere variate. Este suficient să ne asigurăm că distribuţia energiei în spectrul sursei auxiliare diferă destul de puţin de cea a stelelor. Cînd este însă vorba de măsurători pe imagini focale, etalonarea trebuie făcută totdeauna cu ajutorul stelelor. Pentru un cîmp stelar destul de bogat, sînt suficiente două expuneri, una fără atenuare, cealaltă reducînd iluminările într-un raport cunoscut, pentru a trasa curba de înnegrire cu un mare număr de puncte (Schwarzschild). Atenuarea se poate realiza cu ajutorul unei grile sau a unei reţele fine, sau cu ajutorul unui filtru absorbant neutru. Aşezînd filtrul în faţa unei jumătăţi de placă în timpul primei expuneri, şi în faţa celeilalte jumătăţi în timpul celei de-a doua, se poate ţine cont de o variaţie posibilă a absorbţiei atmosferice. Grila aşezată în faţa obiectivului — care funcţionează ca o reţea de difracţie — permite în sfîrşit să se realizeze etalonarea cu o singură expunere, făcînd măsurători în acelaşi timp asupra imaginilor centrale şi asupra primelor imagini de difracţie de o parte şi de alta a acestora (E. Hertzsprung, 1912).

O dată cunoscute magnitudinile stelelor dintr-un cîmp stelar, se pot etalona clişeele luate pentru alte regiuni fotografiind cîmpul etalon pe aceeaşi placă, la aceeaşi distanţă zenitală. S-au făcut eforturi considerabile pentru a determina cu precizie magnitudinile stelelor din vecinătatea Polului Nord, observabile în emisfera noastră la orice oră din noapte şi în orice anotimp. *Secvenţa polară internaţională*, stabilită de Seares (1914—1922), conţine 96 de stele de magnitudini fotografice cuprinse între 2,5 şi 20,1, avînd o listă suplimentară de alte 56 de stele. Alte secvenţe, rataşate la precedenta în diverse regiuni (regiunile standard stabilite la Harvard) şi în cîteva roiuri galactice (Pleiade, Praesepe), pot servi ca etaloane secundare.

METODELE FOTOELECTRICE. Urmînd foarte îndeaproape progresele realizate în fabricarea celulelor, dezvoltarea măsurătorilor fotoelectrice a revoluţionat, în mai puţin de un sfert de secol, fotometria astronomică. Prima aplicaţie datează din 1910. Cu ajutorul unei celule fotoconductoare cu seleniu, J. Stebbins a trasat, cu o exactitudine surprizătoare, curba de lumină a stelei cu eclipsă Algol şi a pus în evidenţă pentru prima oară minimum-ul secundar a cărui existenţă fusese prevăzută, dar a cărui adîncime este mai mică de 1/10 magnitudini. Încă de la început precizia atingea sutimea de magnitudine pe care nici o altă metodă nu o dăduse vroedată. Celulele cu seleniu, care prezintă un „efect de oboseală“ foarte supărător, au fost repede înlocuite prin celule de fotoemisie cu hidrură de potasiu, a căror sensibilitate este maximă în albastru, sau prin celule cu rubidiu sau cu sodiu.

Cel mai adesea au fost folosite *celule cu gaz*, mai sensibile decît celulele cu vid, dar care prezintă inconvenientul că nu mai dau un curent riguros proporţional cu fluxul pe care îl primesc. În ciuda acestui fapt intensitatea curentului fotoelectric era încă prea slabă pentru a putea fi direct măsurată cu ajutorul unui galvanometru şi era necesară folosirea unui electrometru de capacitate mică.

Din 1912 pînă în 1932 s-a urmărit mai ales studiul precis al stelelor variabile strălucitoare, pentru că stelele slabe erau încă inaccesibile măsurătorilor (Stebbins, Guthnick). După aceea apariţia electrometrelor cu lămpi, cu rezistenţă internă foarte mare, a permis aplicarea în fotometria stelară a tehnicilor de amplificare în curent continuu (Whitford, 1932). Puţin mai tîrziu, J.S. Hall (1934) a efectuat primele măsurători stelare în infraroşul apropiat, cu o celulă cu oxid de cesiu depus pe argint, răcită cu zăpadă carbonică pentru a diminua emisia termoionică a cesiului.

Folosirea unui amplificator cu rezistenţă de sarcină ridicată are din păcate ca efect amplificarea mai curînd a fluctuaţiilor care constituie zgomotul de fond decît a curentului fotoelectric în sine. Fotomultiplicatoarele, a căror folosire s-a extins după 1945, sînt deja, în această privinţă, mult mai avantajoase. Funcţionarea lor se bazează pe emisia de electroni secundari de către anumite substanţe cum ar fi aliajele de magneziu-argint atunci cînd cad pe ele electroni cu o energie suficient de mare[10]. O dată cu creşterea numărului de ţinte emiţătoare, sau *dinode*, numărul de electroni se multiplică, cu fiecare dinodă întîlnită, cu un factor cuprins între 2 şi 5. Astfel, în fotomultiplicatoarele lui Lallemand, cu 19 sau 20 de etaje, intensitatea curentului obţinut este de 10 sau de 20 de milioane de ori mai mare decît cea a curentului fotoelectric iniţial. Or, această amplificare enormă nu măreşte şi raportul dintre zgomotul de fond şi semnal.

Rămînînd de aici înainte singurele mijloace folosite în fotometria stelară, fotomultiplicatoarele permit să se măsoare cel puţin toate stelele vizibile în ocularul telescopului pe care sînt montate, iar precizia nu este limitată adesea decît de variațiile transparenței atmosferei, de turbulența sa sau de luminozitatea cerului. Cum răspunsul este instantaneu ele pot să servească și, analog numărătoarele de fotoni, la numărarea impulsurilor primite în timpul unei anumite durate, pentru a măsura fluxurile extrem de slabe.

---

[10] Vezi, de asemenea, articolul lui P. Marzin şi Le Mézec, pp. 279—280.

Astăzi se folosesc mai ales catode cu cesiu-antimoniu, care sînt sensibile din ultraviolet pînă în roșu, și catode cu cesiu pe argint, a căror sensibilitate, maximă în jurul a 0,8 μ se întinde pînă la 1,2 μ. Dar, în general, se lucrează în benzi spectrale mai mult sau mai puțin înguste, iar măsurătorile sînt rataşate colorimetriei.

De la 1,2 pînă la aproximativ 2,6 μ, receptorul cel mai sensibil este în prezent celula fotoconductoare cu sulfură de plumb. Rezistența sa relativ mică și zgomotul său de fond ridicat necesită folosirea unei tehnici de amplificare diferite. Lumina este modulată cu o frecvență de cîteva sutimi de cicluri pe secundă și curentul care traversează celula este trimis la un amplificator de curent alternativ cu bandă de trecere suficient de îngustă, acordată pe frecvența de modulație. Cu toate acestea în focarul unui telescop cu deschiderea de 120 de cm este încă dificil să se observe stele roșii mai slabe decît cele de magnitudine 8.

2. Colorimetria

Dacă curba energiei unei stele este asimilabilă celei a unui corp negru, atunci ea poate fi caracterizată de un parametru unic: temperatura de culoare. Se încearcă adesea înlocuirea acesteia printr-un alt parametru sau *echivalent de culoare* a cărui determinare nu cere măsurători spectrofotometrice, care sînt totdeauna laborioase și chiar irealizabile cînd este vorba de stele slabe.

O rețea-grilă situată în fața obiectivului dă, pe placa așezată în focar, mici spectre de difracție pe care se măsoară cu ușurință poziția maximum-ului de înnegrire (Hertzsprung). *Lungimea de undă efectivă*, ca și ceilalți echivalenți de culoare, depinde în același timp de temperatura de culoare a stelei, de sensibilitatea spectrală a plăcii, de curba de transmisie a atmosferei. (O prismă cu unghi mic dă, dealtfel, un spectru analog, cu o pierdere de lumină mai mică). Am mai putea aminti procedeele bazate pe egalizarea vizuală a culorii unei stele cu a unei surse artificiale, ca și metoda originală a lui Tihov și Tamm (1922, 1923), care folosea aberația cromatică a unui obiectiv, acoperit în partea sa centrală, pentru a fotografia plaje extrafocale care au aspect diferit în funcție de culoarea stelei. La început ca *indice de culoare* al unei stele a fost luată diferența între magnitudinea sa fotografică și magnitudinea sa vizuală. Conform regulii lui Pickering, stelele de tip A0 trebuie să aibă în medie un indice de culoare nul, stelele mai albastre (de clasă spectrală B) un indice negativ, iar celelalte stele un indice pozitiv cu atît mai mare cu cît sînt mai roșii. Indicii de culoare obținuți prezintă într-adevăr această variație progresivă în funcție de tipul spectral. Mai tîrziu s-a considerat că este preferabilă înlocuirea magnitudinilor vizuale cu așa-numitele magnitudini *fotovizuale*, determinate pe plăci ortocromatice, sensibile pînă spre 0,6μ, cu un maxim ascuțit în jurul lungimii de undă de 0,55μ. Asociate unui filtru galben care suprimă radiațiile violete, aceste plăci au o curbă de sensibilitate suficient de apropiată de cea a ochiului pentru ca magnitudinile fotovizuale şi vizuale să fie aproape identice (Parkhurst, Yerkes Actinometry, 1912). Seares (1915—1922) a stabilit o secvenţă polară Nord a magnitudinilor fotovizuale (m_{pv}) analoagă secvenţei polare a magnitudinilor fotografice (m_{pg}).

Indicii de culoare internaţionali $C = m_{pg} - m_{pv}$ conduc la o evaluare destul de corectă a temperaturii de culoare a stelelor pitice din secvenţa principală, cu ajutorul relaţiei semiempirice $T_c(°K) = 7984/(C + 0{,}735)$.

În loc să se utilizeze doi receptori cu sensibilităţi spectrale diferite, este mai avantajos ca aceluiaşi receptor (de exemplu unei plăci pancromatice) să i se asocieze două filtre colorate diferit. În felul acesta au fost definite multe sisteme de indici de culoare (cum sînt indicii albastru-roşu de la Harvard). O celulă fotoelectrică dă însă mai rapid rezultate mult mai exacte. Cu o celulă cu potasiu, un filtru albastru şi un filtru galben, măsurătorile se referă în general la două benzi spectrale vecine şi care se suprapun parţial, însă indicii de culoare sînt determinaţi cu o aproximaţie de ±0,02 magn., precizie imposibil de atins cu ajutorul fotografiei. Astfel folosirea indicilor de culoare fotoelectrici a dus la progrese considerabile în colorimetria stelară (Bottlinger, 1923; W. Becker, 1933; Stebbins, Huffer şi Whitford, 1934—1939).

Cercetările acestor autori au dovedit că dispersia semnificativă a indicilor de culoare ai stelelor (clasele O şi B) se datorează absorbţiei interstelare. Stelele îndepărtate de latitudini galactice joase sînt mai mult sau mai puţin înroşite de absorbţie: la indicele intrinsec al stelelor de acelaşi tip apropiate de Soare se adaugă un exces de culoare, variabil cu direcţia şi cu distanţa. În cazul acesta, pentru caracterizarea temperaturii stelelor nu mai sînt suficiente măsurătorile în două culori.

Fotografiind stelele în trei regiuni spectrale alese, ultraviolet (U), albastru (B) şi roşu (R) şi făcînd diferenţele de magnitudine U—B şi B—R, W. Becker a arătat că mărimea (U—B) — (B—R) este practic independentă de absorbţia interstelară pentru toate tipurile spectrale şi a aplicat această metodă la studiul roiurilor galactice (1941). Procedînd analog, H.L. Johnson şi W.W. Morgan asociază unui fotomultiplicator cu cesiu-antimoniu trei filtre, ultraviolet (U), albastru (B) şi galben (V = vizibil), iar sistemul lor, „sistemul U—B—V“ s-a răspîndit foarte repede.

Johnson şi Morgan au determinat mai întîi indicii intrinseci consideraţi în afara atmosferei pentru 290 de stele neînroşite de absorbţia interstelară, alese în aşa fel încît să reprezinte toate tipurile spectrale şi toate clasele de luminozitate. Măsurarea indicilor U — B şi B — V pentru stelele afectate de absorbţia interstelară duce apoi la determinarea cu precizie în acelaşi timp a tipului spectral şi a înroşirii stelelor B.

Într-o altă serie de lucrări importante apărute după 1942, Stebbins şi Whitford, lucrînd cu un multiplicator cu cesiu pe argint, izolează cu ajutorul filtrelor şase regiuni spectrale între 0,35 μ şi 1,03 μ. În felul acesta ei au reuşit să traseze curba de absorbţie a particulelor interstelare. Aceste măsurători, şi încă mai mult cele în care se izolează o linie de absorbţie intensă cu ajutorul unui filtru interferenţial (Strömgren, 1951—1958) sînt de acum echivalente cu o spectrofotometrie puţin grosieră.

3. Măsurători energetice

Doar receptoarele termice, la fel de sensibile pentru toate radiaţiile, măsoară direct energia în unitatea de timp primită de la stele sau strălucirea energetică. Această putere este însă foarte mică: numai în cazul a două sau trei stele ea abia atinge $5 \cdot 10^{-12}$ ergi pe secundă şi pe centimetru pătrat. Pe de altă parte receptoarele termice sînt mult mai puţin sensibile decît receptoarele selective cum sînt ochiul, placa fotografică sau celulele fotoelectrice, de unde şi extrema dificultate în efectuarea măsurătorilor.

Plasînd radiometrul lui Nichols (1901) în focarul unui instrument cu deschiderea de 60 cm s-a obţinut o deviaţie apreciabilă numai în cazul cîtorva stele. Un mare progres a fost realizat odată cu apariţia cuplurilor termoelectrice în vid (1912), cu ajutorul cărora Coblentz a putut studia, începînd din 1913, o sută de stele cu un telescop de 80 cm. Apoi, folosind îndeosebi cuplurile platină-aliaj de platină cu rodiu, plasate în focarul telescopului de 250 cm de la Mount-Wilson, Pettit şi Nicholson au măsurat strălucirea energetică a mai mult de 200 de stele, pînă la magnitudinea vizuală 3 pentru cele mai slabe şi 12 pentru cele mai roşii (1922—28). Ei au făcut să-i corespundă strălucirii energetice, adusă de bine de rău la zenitul locului la Mount-Wilson, o magnitudine radiometrică m_r, astfel aleasă încît să fie egală cu magnitudinea vizuală corespunzătoare stelelor A0. Indicele de căldură $m_v - m_r$ avînd o valoare medie nulă pentru aceste stele, capătă valori pozitive crescătoare, ca şi indicele de culoare, pentru stelele din ce în ce mai reci.

Neputîndu-se măsura direct strălucirile energetice pentru cele mai multe dintre stele, se poate încerca calcularea lor pornind de la măsurători făcute cu ajutorul unui receptor selectiv. Pentru aceasta trebuie să se cunoască distribuţia energiei în spectrele stelare, curba de sensibilitate a receptorului şi — pentru a putea aduce strălucirea la valorile corespunzătoare în afara atmosferei — curba de transmisie a atmosferei. Calculele au fost făcute pornind de la măsurători vizuale sau fotovizuale, asimilînd radiaţia stelelor cu radiaţia corpului negru la temperaturi cunoscute (Hertzsprung, 1906; Eddington, 1926), apoi pentru stelele fierbinţi, pornind de la alte curbe teoretice de energie sau, pentru stelele reci, pornind de la magnitudini radiometrice (Kuiper, 1938). Magnitudinea numită *bolometrică* m_b este considerată egală cu magnitudinea fotovizuală m_{pv} atunci cînd maximul curbei de energie coincide cu maximul de sensibilitate al plăcii ortocromatice (la $0{,}55\,\mu$). *Corecţia bolometrică* $m_b - m_{pv}$ este astfel nulă pentru stelele a căror temperatură de culoare este de aproximativ 6500°K şi negativă pentru toate celelalte stele, mai fierbinţi sau mai reci. Magnitudinile bolometrice intervin constant în calculele referitoare la radiaţia stelelor.

4. Fotometria aştrilor nepunctiformi

Atunci cînd dimensiunile aparente ale unui astru sînt apreciabile putem, în principiu, să ne propunem să măsurăm, în locul strălucirii sale stelare, *luminanţa* sa sau strălucirea stelară pe unitatea de unghi solid*. Studiul, punct cu punct, al distribuţiei luminanţei pe suprafaţa astrului nu este posibil decît dacă dimensiunile unghiulare sînt suficient de mari (cazul Soarelui şi al coroanei sale, al Lunii, uneori al planetelor mari, al nebuloaselor mari şi al galaxiilor suficient de apropiate). Pentru micile nebuloase galactice sau extragalactice, ca şi pentru planetele cu diametru aparent mic, măsurătorile se referă în general la strălucirea globală, din care se poate deduce luminanţa medie cunoscînd dimensiunile unghiulare.

---

* Mai explicit, se determină strălucirea sau luminanţa B, măsurîndu-se iluminanţa E produsă de elementul de suprafaţă, al cărui unghi solid în punctul de observaţie este $d\omega$, prin relaţia $E = B\, d\omega$. — *I.G.*

Strălucirea globală a planetelor se măsoară în acelaşi fel ca şi strălucirea stelelor. Radiaţia termică proprie a lor nefiind observabilă decît în infraroşu, măsurătorile efectuate în regiunile vizibilă şi violetă ale spectrului se referă numai la lumina solară difuzată de planetă. Strălucirea acesteia variază nu numai cu distanţa faţă de Soare şi faţă de Pămînt, ci şi cu distanţa unghiulară a Soarelui şi a Pămîntului văzute de pe planetă (unghi de fază). Cunoaşterea legii fazei aduce informaţii interesante cu privire la natura solului şi a atmosferei planetei. Vechile măsurători ale lui G. Müller făcute cu fotometrul Zöllner au fost reluate şi completate de către Danjon (1948), care a studiat legile fazei pentru Mercur şi Venus cu ajutorul unui fotometru vizual cu cîmpuri suprapuse, care permite compararea unei imagini puţin mărite a planetei cu o imagine foarte mică a Soarelui, de strălucire reglabilă. Şi legea de fază a Lunii a reprezentat obiectul măsurătorilor vizuale şi fotografice, înaintea studiului fotoelectric foarte precis al lui Rougier (1933).

Este indispensabil de a se raporta la scările de magnitudini folosite pentru stele strălucirile galaxiilor exterioare, care intervin în evaluarea distanţelor lor. Metoda fotografică a lui Ch. Fabry a fost imaginată tocmai în scopul de a se compara o sursă extinsă cu o sursă punctuală. Bigay s-a folosit de ea pentru a determina cu precizie magnitudinile fotografice a 175 de galaxii (1951). Mai înainte fuseseră făcute multe măsurători prin metode fără îndoială mai expeditive, dar desigur mai puţin precise. Pe clişeele luate cu un obiectiv cu distanţă focală mică, stelele şi obiectele cu diametru aparent mic dau imagini aproximativ comparabile. În felul acesta au fost determinate magnitudinile mai multor mii de galaxii la Harvard, apoi la Lund; aceste determinări erau foarte imprecise şi în plus afectate de erori sistematice. La Harvard şi la Yerkes a fost aplicată şi metoda extrafocală. În sfîrşit studiul distribuţiei luminanţei pe clişee la scară mare pentru galaxii poate da, prin integrare, strălucirea globală, atunci cînd plăcile sînt etalonate cu imagini stelare extrafocale (Redman, Holmberg). Acest procedeu foarte laborios conduce la rezultate corecte, furnizînd în acelaşi timp informaţii de mare interes cu privire la structura galaxiilor.

Celula fotoelectrică, sensibilă la fluxul total pe care îl primeşte, este foarte potrivită pentru compararea galaxiilor cu stelele. Asemenea măsurători s-au făcut mai întîi în lumină integrală apoi în două şi în trei culori (Stebbins şi Whitford, Bigay, Pettit, de Vaucouleurs). Studiul fotometric şi colorimetric al roiurilor globulare necesită aceleaşi tehnici fotografice şi fotoelectrice. Dar, în cazul nebuloaselor cu spectre de linii strălucitoare, măsurătorile nu au o semnificaţie precisă decît atunci cînd se referă la linii individuale, izolate cu ajutorul filtrelor interferenţiale.

Astfel, datorită înlocuirii progresive a ochiului uman cu noi receptori, măsurătorile fotometrice au fost extinse la aştri din ce în ce mai slabi, cu o precizie mereu sporită. Evoluţia fotometriei astronomice pare atît de strîns legată de perfecţionarea receptorilor încît orice progres tehnic deschide perspective noi. Celulele cu telurură de plumb vor permite fără îndoială extinderea în curînd a măsurătorilor în infraroşu pînă la aproximativ 4μ. Fotografia, care a pierdut continuu teren în favoarea fotoelectricităţii, va fi fără îndoială din nou folosită, fiind asociată acesteia sub formă de fotografie electronică. Utilizînd camera lui Lallemand, care transformă fidel imaginea dată de fotoni pe catod într-o imagine electronică pe placă, durata expunerilor este într-adevăr redusă considerabil, iar măsurătorile fotometrice sînt mult uşurate prin faptul că plăcile speciale pentru electroni ascultă de o lege de înnegrire mai simplă decît plăcile sensibile la lumină.

H. STELELE DUBLE CU ECLIPSĂ

Observarea stelelor duble vizuale (vol. III, 1, p. 149), nu mai prezintă interes decît pentru un număr restrîns de observatori asidui. Tehnicilor tradiţionale (micrometrul cu fir, fotografia) li s-a adăugat în 1939 micrometrul cu imagine dublă al lui P. Müller, special adaptat pentru eliminarea efectelor sistematice din cazul cuplurilor strînse. Cunoştinţele noastre cu privire la masele stelelor se bazează aproape în întregime pe datele relative la aproximativ 250 de binare vizuale ale căror elemente şi paralaxe au putut fi determinate. Aşadar, nu putem decît să regretăm lipsa de interes în legătură cu acest subiect.

Dimpotrivă, studiul stelelor cu eclipsă a făcut obiectul unor lucrări importante. Aceste stele duble spectroscopice prezintă variaţii regulate de strălucire, caracterizate de minime periodice. Încă din 1783, Goodricke a atribuit minimele lui Algol (β Persei, amplitudine ≈1,2 magn., perioadă 2,87 zile) unor eclipse şi această interpretare a devenit incontestabilă atunci cînd Vogel a stabilit că era vorba de o stea dublă spectroscopică (1889). Într-adevăr, viteza radială se anulează în momentul minimului: în acest moment componenta strălucitoare este eclipsată de cea mai puţin luminoasă. După o jumătate de perioadă, steaua slabă este eclipsată la rîndul ei de steaua mai strălucitoare şi se observă un minim de amplitudine foarte mică (≈0,05 magn., Stebbins, 1910—20). Cele două minime sînt riguros echidistante atunci cînd orbita este circulară; cînd orbita este eliptică ele pot să nu fie echidistante. Adîncimea lor relativă diferă mult de la un cuplu de stele la altul.

În afara eclipselor, variaţiile de strălucire ale stelei Algol sînt foarte slabe. Dimpotrivă, cele ale stelei β Lyrae (Goodricke, 1784; perioadă 12,92 zile, amplitudinile minimelor apropiate de 1,0 şi 0,5 magn.) sînt foarte pronunţate. Ele se suprapun peste curba de lumină, astfel încît ipoteza eclipselor nu s-a impus imediat. Dar Pickering (1891) a recunoscut în ea o dublă spectroscopică. Cu zece ani mai devreme el găsise cauza principală a variaţiilor continue: cele două stele, foarte apropiate una de alta, nu sînt sferice. Ele pot fi asimilate unor elipsoizi de revoluţie asemenea, alungiţi în direcţia centrelor şi rotindu-se în jurul axei lor mici cu o perioadă egală cu perioada de revoluţie. Variaţia suprafeţei aparente a elipsoizilor produce în mod necesar, în cursul revoluţiei, o variaţie continuă a strălucirii. Rotaţia stelelor a fost pusă în evidenţă mai tîrziu prin anomaliile vitezei radiale înainte şi după mijlocul eclipsei: înainte de minim observatorul primeşte lumina emisă de marginea stelei eclipsate care se îndepărtează de el ca urmare a rotaţiei, apoi lumina provenind de la marginea care se apropie. Interpretarea variaţiilor din afara eclipselor face să intervină de asemenea *efectul de fază:* cele două componente luminîndu-se reciproc, feţele lor care se privesc devin mai luminoase. Nu este vorba de o simplă reflexie, ci de un fenomen complex de transfer de radiaţie. Alte efecte secundare pot fi adesea neglijate.

Teoria fotometrică a dublelor cu eclipsă a fost dezvoltată mai ales de către H.N. Russell (1911—12) care a considerat discurile stelelor ca avînd o strălucire uniformă. Russell şi Shapley (1912) au extins calculele la cazul în care discurile sînt, ca şi la Soare, întunecate spre margine, iar Shapley a aplicat această metodă la 90 de cupluri (1915). Mai tîrziu a fost introdusă o serie de perfecţionări, în special de către Kopal (1946—1950).

Esenţial înainte de toate este de a dispune de o curbă de lumină foarte precisă. Multă vreme măsurătorile vizuale făcute cu fotometrul Pickering mai ales de către Dugan, care a calculat el însuşi elementele fotometrice a numeroase sisteme, împreună cu unele măsurători fotografice ale lui Hertzsprung, au putut fi considerate ca fiind cele mai bune. Astăzi însă se face apel la măsurătorile fotoelectrice, singurele capabile să atingă precizia de o sutime de magnitudine.

Studiul variaţiilor exterioare eclipselor permite să se ţină seama de efectele de elipticitate şi de fază şi să se construiască curba de lumină numită *rectificată*, orizontală între eclipse, care s-ar observa în absenţa lor. Analiza acesteia duce la evaluarea raportului luminozităţilor celor două componente, a raporturilor R_1/a şi R_2/a dintre razele lor şi raza a a orbitei relative şi, în sfîrşit a înclinării i a planului orbitei faţă de planul tangent la sfera cerească.

Atunci cînd în spectru se disting sisteme de linii aparţinînd fiecăreia dintre componente, studiul celor două curbe ale vitezelor radiale dă orientarea orbitei în planul său, excentricitatea sa, produsul $a \sin i$ (în raze solare sau în kilometri) şi, în sfîrşit, produsul maselor celor două stele cu $\sin^3 i$ (în mase solare sau în grame).

Cînd sînt observate cele două spectre, din combinarea elementelor furnizate de fotometrie şi de spectroscopie rezultă în final razele celor două stele în kilometri, masele lor în grame şi densităţile lor în g/cm³. Se pare că astăzi aceste mărimi sînt destul de bine cunoscute pentru aproximativ 80 de cupluri.

Pentru stelele de pe secvenţa principală, razele scad în mod constant de la clasa 0 (peste 10 raze solare) la clasa G (1 rază solară). Masa descreşte rapid de la clasa 0 (peste 20 mase solare) la ultimele tipuri A, apoi foarte lent în cadrul clasei F şi al clasei G unde devine apropiată de masa Soarelui. Cum volumul scade mai repede decît masa, densitatea creşte constant de la stele 0 la stele K, mai întîi foarte repede, apoi mai lent. De ordinul a 0,1 g/cm³ în primele tipuri B, ea atinge 1 g/cm³ în clasa F şi se apropie de 2 g/cm^3 în clasa K. Pentru gigante, mai puţin frecvente printre dublele cu eclipsă, se găsesc densităţi cuprinse între 0,008 şi 0,03 g/cm^3. În sfîrşit, cîteva supragigante, a căror rază este de cîteva sute sau de o mie de raze solare, conduc la mase specifice de 0,001 mg/cm^3 sau chiar mai mici.

Vechii împărţiri în stele de tip Algol şi de tip β Lyrae, i se substituie astăzi o clasificare fizică mai fină care face să intervină spectrele şi intensităţile luminoase ale componentelor. Marea frecvenţă, printre stelele cu eclipsă, a tipurilor spectrale B şi A rezultă dintr-un efect de selecţie datorat intensităţii luminoase mai mari a acestor stele. Într-un spaţiu limitat din jurul Soarelui, stelele de tip W Ursae Majoris sînt în realitate de 30 de ori mai numeroase pe unitatea de volum (Shapley, 1946). Este vorba de cupluri de stele pitice foarte apropiate unele de altele şi cu o mare elipticitate de tip spectral avansat (mai ales F şi G), a căror perioadă este mai mică de o zi.

Studiul spectroscopic detaliat al cuplurilor foarte strînse a evidenţiat în multe cazuri complicaţii fizice deosebite care fac incerte elementele calculate.

Stelele W Ursae Majoris şi cuplurile strînse de stele B sînt înconjurate de o anvelopă gazoasă comună (O. Struve). În jurul componentei strălucitoare a stelei R W Tauri a fost semnalată existenţa unui inel gazos aflat în rotaţie rapidă. Cîteodată se constată prezenţa unor curenţi gazoşi între cele două stele (U X Monocerotis, β Lyrae). În jurul lui β Lyrae, există de asemenea fie un inel gazos în expansiune (Struve), fie o spirală de gaz ejectată de una dintre componente.

Ansamblul acestor rezultate i-a sugerat lui Struve următoarea schemă evolutivă: prin condensarea unui nor interstelar s-ar naşte mai întîi o stea B masivă (10 mase solare) în rotaţie rapidă şi puternic turtită, a cărei instabilitate rotaţională ar duce la fisiune, dînd naştere unui cuplu analog cu U Coronae Borealis (de clasă spectrală A, respectiv G, masele egale respectiv cu 4 şi 2 mase solare). În sfîrşit, ruperea componentei celei mai mici şi mai puţin masive ar duce la formarea unui sistem planetar, după ipoteza cosmogonică a lui von Weizsäcker. Indiferent dacă această schemă este sau nu valabilă, cert este că studiul cuplurilor foarte strînse trebuie să contribuie în mod eficace la rezolvarea problemelor pe care le ridică evoluţia stelelor.

I. STELELE VARIABILE

Prima stea variabilă cunoscută, Mira Ceti, a fost descoperită în 1596 de către D. Fabricius, iar trei sferturi de secol mai tîrziu, în 1667, G. Montanari a remarcat că β Persei (Algol) nu avea o strălucire constantă. Mai tîrziu, numărul stelelor recunoscute ca variabile a crescut, foarte lent la început, apoi din ce în ce mai repede. În 1865 au fost înregistrate 113 variabile. Tabelul de mai jos dă numărul stelelor variabile conţinute în principalele cataloage publicate începînd de la sfîrşitul secolului al XIX-lea:

Anii	*Autorii cataloagelor*	*Numărul de variabile*
1896	S. C. Chandler	393
1907	Miss A. Cannon	1 425
1920	G. Müller şi E. Hartwig	2 054
1930	R. Prager	4 611
1941	H. Schneller	8 445
1948	B. W. Kukarkin şi P. P. Parenago	10 912
1958	— —	14 708

Dacă se au în vedere şi stelele variabile situate în roiurile globulare, în Norii lui Magellan şi în alte galaxii exterioare şi care nu figurează în general în aceste cataloage, numărul lor depăşeşte 20 000.

Primele stele variabile au fost găsite în mod întîmplător în cursul unor observaţii vizuale, dar fotografia, larg utilizată începînd cu sfîrşitul secolului al XIX-lea, este cea care a permis descoperirea lor masivă, mai ales la Observatorul din Harvard, sub impulsul lui E. C. Pickering, apoi sub cel al lui H. Shapley. Pentru compararea clişeelor unui aceluiaşi cîmp, obţinute la perioade diferite, se folosesc mai multe metode: suprapunerea unui negativ şi a unui pozitiv, compararea directă a două negative, examinarea la blink-comparator sau la stereo-comparator. Pentru detectarea variabilelor foarte rapide, se efectuează mai multe fotografii ale unui cîmp în cursul aceleiaşi nopţi. Stelele variabile pot fi identificate şi după spectrul lor.

Observarea fotometrică a stelelor variabile constă în măsurarea magnitudinii lor la un moment determinat. Reprezentînd pe un grafic, timpul în abscisă (socotit în zile iuliene) şi magnitudinile în ordonată, se obţine curba de lumină. Primele observaţii au fost totdeauna efectuate vizual, în general prin metoda gradelor lui Argelander, utilizate începînd de la jumătatea secolului al XIX-lea. Pe la începutul secolului al XX-lea, în mai multe ţări s-au format Asociaţii ale observatorilor de stele variabile, grupînd amatori şi profesionişti. Aceste asociaţii fixează programele, furnizează observatorilor hărţi pentru identificare şi centralizează observaţiile, cărora le asigură publicarea.

Astfel s-a constituit în Anglia, prin 1905 Variable Stars Section of the British Astronomical Association; American Association of Variable Stars Observers (A.A.V.S.O.) a fost fundată în 1911 în Statele Unite de către Pickering; după aceea ea şi-a înscris în programul său un număr de aproape o mie de stele şi a asigurat publicarea a mai mult de un milion de observaţii. Grupări analoage s-au mai format: în Franţa (A.F.O.E.V. cu sprijinul lui J. Mascart, H. Grouiller, A. Brun), în Japonia, în Noua Zeelandă, în U.R.S.S. etc.

Aceste observaţii vizuale, efectuate cu ochiul liber, cu binoclul sau cu ajutorul lunetelor sau al telescoapelor, au o precizie suficientă pentru a obţine curbe de lumină bune în cazul stelelor care prezintă o mare amplitudine a variației (variabile cu perioadă lungă sau neregulate). Pentru construirea curbelor de lumină ale variabilelor cu amplitudine mică, cum sînt cefeidele, variabilele cu eclipsă, sînt necesare măsurători mai precise. În acest caz, în efectuarea observațiilor se utilizează aparatele și se aplică metodele fotometriei vizuale, fotografice sau fotoelectrice (vezi pp. 549—553).

Examinarea curbelor de lumină arată că există categorii foarte diferite de stele variabile. Studiul perioadei, al amplitudinii și al formei mai mult sau mai puțin regulate a curbei de lumină a condus la clasificări din ce în ce mai complexe. Clasificările cele mai cunoscute sînt cele ale lui E.G. Pickering (1911) A. Nijland (1913), P. Guthnick (1921) și H. Schneller (1939). Cea mai recentă clasificare este cea din catalogul lui B.W. Kukarkin și P.P. Parenago, publicat în 1958. Aici stelele sînt împărțite în trei mari grupe: 1. Stelele pulsante, subîmpărțite în 22 de tipuri; 2. Variabilele eruptive, cuprinzînd 12 tipuri; 3. Binarele cu eclipsă subîmpărțite în 5 tipuri. Aceasta este cea mai completă clasificare de care dispunem în prezent.

CEFEIDELE. Clasa cefeidelor este una dintre cele mai importante; în 1895 se cunoșteau numai 33 astfel de stele cu perioadele cuprinse între 2,5 și 39 de zile și cu amplitudini de la 0,5 la 1 magnitudine. La aceeași dată, S.J.Bailey descoperea în anumite roiuri globulare (M.5) variabile avînd caracteristici analoage, dar perioade mai mici de 20 de ore și o creștere a strălucirii foarte rapidă. În anii care au urmat au fost descoperite sute de astfel de variabile situate în roiuri. La începutul secolului, Mrs. W.P. Fleming a găsit o cefeidă cu perioadă scurtă în afara roiurilor: este vorba de R R Lyrae, care prezintă aceleași caracteristici cu variabilele din roiuri. Folosirea fotografiei a dus la descoperirea în continuare a numeroase alte variabile de tip R R Lyrae. În prezent se cunosc mai mult de 600 de cefeide clasice (cu perioada mai mare de o zi) în Galaxia noastră și mai mult de 2000 în galaxiile exterioare, mai ales în Norii lui Magellan. În Galaxia noastră au fost găsite 2000 de variabile R R Lyrae, dintre care aproximativ 600 sînt grupate în roiuri globulare.

În 1915 S. N. Blajko a descoperit existența unor variații periodice ale fazei și ale formei curbei de lumină la anumite variabile R R Lyrae și cefeide clasice (efect Blajko). W. C. Martin a constatat în 1938 ușoare schimbări de perioadă la mai multe stele R R Lyrae din roiul ω Centauri, comparînd observațiile făcute din 1931 pînă în 1935 cu cele ale lui Bailey făcute între 1892 și 1898. Anumite variabile din acest roi prezintă în plus fluctuații prea importante pentru a putea fi considerate ca variații seculare analoage precedentelor. Ulterior au fost făcute observații asemănătoare în alte roiuri globulare, pentru anumite variabile R R Lyrae, precum și pentru unele cefeide clasice. Astfel, s-a constatat că perioada stelei R Z Cephei de tip R R Lyrae, s-a scurtat, și s-a lungit alternativ cu cîteva secunde, între 1898 și 1923.

În 1912, Miss H.S. Leavitt a descoperit relația perioadă-luminozitate pentru cefeide, a cărei importanță este capitală pentru determinarea distanțelor intergalactice. Vom da mai departe indicații cu privire la stabilirea acestei relații, la etalonarea sa provizorie, ca și la revizuirea scării distanțelor, propusă de W. Baade în 1952 (p. 573). Magnitudinea absolută apropiată de zero, mult timp atribuită variabilelor R R Lyrae, trebuie fără îndoială să fie uşor modificată: se pare că în urma lucrărilor lui Parenago (1955) şi ale lui O.J. Eggen (1961), intensitatea luminoasă a acestor stele ar trebui considerată în realitate ceva mai mică, (de magnitudine absolută cuprinsă între 0,5 şi +1,0).

Introducerea de către Baade, în 1944, a populaţiilor stelare I şi II a avut drept consecinţă elucidarea problemei clasificării cefeidelor. Cefeidele clasice cu perioada mai mare de o zi s-au dovedit a fi obiecte ale populaţiei I cu o relaţie perioadă-luminozitate distinctă; aceste stele populează discul Galaxiei şi se concentrează fără îndoială în braţele spiralei; ele constituie ceea ce se numeşte un subsistem plat. Variabilele de tip R R Lyrae, variabilele de roi ca şi cefeidele anormale cu perioada mai mare de o zi (de tip W Virginis) sînt dimpotrivă obiecte pure de populaţie II; aceste variabile populează nucleul şi haloul Galaxiei; ele aparţin unui subsistem sferic. Cefeidele anormale au o relaţie perioadă-luminozitate distinctă de cea a cefeidelor clasice; ea se racordează la cea a variabilelor R R Lyrae. Existenţa unor variabile de tip R R Lyrae de populaţie I nu pare a fi stabilită definitiv.

Roiurile galactice de populaţie I (roiuri deschise) au fost considerate multă vreme ca formaţii în care, cu excepţia binarelor cu eclipsă, variabilele lipsesc, spre deosebire de roiurile globulare care uneori conţin multe variabile. P. Doig bănuise încă din 1925 prezenţa unor cefeide în cîteva roiuri galactice, dar dovada nu a fost adusă decît în 1955 de către J.B. Irvin şi D.W.N. Stibbs: U Sagittarii în roiul M. 25, S Normae în N.G.C. 6087. Această descoperire este foarte importantă căci ea permite o determinare independentă a relaţiei perioadă-luminozitate, distanţa unui roi putînd fi determinată cu precizie prin fotometrie. Variabilele de tip T Tauri sînt de asemenea prezente în roiuri galactice, în special în cele asociate nebuloaselor (de exemplu, N.G.C. 2264).

Spectrul cefeidelor este variabil: la maximul de strălucire steaua este de un tip mai puţin avansat decît la minim. Parenago a pus în evidenţă o relaţie statistică între tipul spectral mediu şi perioadă, bazîndu-se pe studiul a 248 de cefeide din catalogul său (1948): spectrul mediu al variabilelor R R Lyrae (A 6) este independent de perioadă; pe cînd spectrul mediu al cefeidelor clasice devine din ce în ce mai avansat, de la F 6 la G 8, pe măsură ce perioada creşte. Cefeidele de populaţie II (W Virginis) urmează o lege analoagă, dar cu un decalaj de aproximativ 0,7 clase spectrale spre tipuri mai puţin avansate (A. H. Joy, 1949).

Variaţiile periodice ale vitezelor radiale observate la cefeide sugeraseră, la începutul secolului, ipoteza după care aceste stele ar putea fi binare spectroscopice. După descoperirea naturii supragigante a cefeidelor, de către E. Hertzsprung şi H.N. Russell, în 1913, această teorie s-a dovedit absurdă: ea ar fi cerut ca companionul să se rotească în interiorul stelei principale (H. Shapley, 1914). Variaţia strălucirii cefeidelor este explicată astăzi prin teoria pulsaţiilor (vezi pp. 580—581).

VARIABILELE CU PERIOADĂ LUNGĂ. Se cunosc în jur de 4000 de stele din clasa variabilelor de perioadă lungă (Mira Ceti). Ele sînt caracterizate de perioade cuprinse în general între 200 şi 400 de zile şi de amplitudini ale variaţiei foarte mari: 4 pînă la 7 magnitudini în domeniul vizual şi fotografic. Totuşi, măsurătorile radiometrice ale lui E. Pettit şi S.B. Nicholson (1933) au arătat că variaţiile energiei totale radiate sînt mult mai slabe: o amplitudine de 1,1 magnitudini radiometrice pentru Mira Ceti. Variabilele de perioadă lungă sînt în totalitate stele roşii, care aparţin claselor spectrale M, R, N sau S; cele mai multe prezintă linii de emisie (seria Balmer, liniile fierului neutru sau ionizat etc.) Clasa S a fost introdusă de către P.W. Merrill, în 1922; ea conţine relativ foarte puţine stele. L. Campbell şi Miss A. Cannon, studiind, în 1928, repartizarea stelelor între diferitele clase spectrale au obţinut următoarele rezultate:

M Me	benzi ale oxidului de titan (TiO)	15%, 75	perioada medie —	216 298	zile —
Se	benzi ale oxidului de zirconiu (ZrO)	4,8	—	367	—
N	sau R (stele carbonice)	5	—	379	—

În 1919, Merrill a observat linii difuze în spectrul stelei R Aquarii şi a constatat că steaua roşie are un companion albastru de asemenea variabil, cele două stele aflîndu-se într-o anvelopă nebuloasă. Pentru această asociere el a introdus termenul de „stele simbiotice“. Un studiu foarte detaliat al spectrului stelei Mira Ceti, publicat în 1924 de către Joy, confirmă faptul că liniile de emisie indică o viteză radială de apropiere în raport cu liniile de absorbţie.

Variaţiile de perioadă au făcut obiectul unor cercetări minuţioase efectuate de T. E. Sterne şi L. Campbel (1937): pentru 377 de stele foarte bine observate, schimbările de perioadă sînt, aproape în toate cazurile, fluctuaţii pur statistice şi doar în cazul a 5 stele schimbările de perioadă par bine stabilite.

În această mare clasă pot fi incluse şi celelalte variabile roşii: variabile cu perioadă lungă cu amplitudinea mai mică de 2,5 magnitudini, semiregulate cu variaţii mai mult sau mai puţin periodice şi variabile neregulate.

Clasa R V Tauri a fost introdusă în 1912 de către S. Enebo. Aceste stele au variaţii prea neregulate pentru a fi posibilă trasarea unei curbe de lumină medii. Studiile spectrografice cu dispersie mare au evidenţiat analogii cu cefeidele de tip W Virginis.

VARIABILELE ERUPTIVE. Variabilele explozive de tip U Geminorum sau SS Cygni suferă, la intervale neregulate, creşteri bruşte ale strălucirii, care depăşesc uneori 4 magnitudini, revenind apoi lent la strălucirea lor iniţială. Duratele maximelor sînt scurte în raport cu intervalele care le separă. Un studiu statistic efectuat de Sterne şi Campbel (1934) al tuturor observaţiilor făcute asupra stelei SS Cygni de la descoperirea sa, în 1896, pînă în 1933, arată că există corelaţii interesante între importanţa maximelor şi durata intervalelor. După măsurătorile de viteze radiale în timpul minimului de strălucire, Joy a tras concluzia, în 1955, că SS Cygni este un sistem binar cu perioada foarte scurtă (0,276 zile). R.P. Kraft semnalează (1961) că cel puţin alte 4 variabile din această clasă sînt de asemenea binare, ceea ce întăreşte ipoteza după care toate variabilele de tip U Geminorum ar fi binare spectroscopice. Magnitudinea absolută a acestor stele, care sînt în număr de o sută, este încă controversată.

AE Aquarii a fost considerată multă vreme drept o stea variabilă de perioadă lungă dar, în 1938, E. Zinner a observat creşteri rapide ale strălucirii de mai multe magnitudini şi a sugerat ca această stea să fie inclusă în clasa stelelor U Geminorum. În 1943, Joy a arătat că spectrul său este asemănător celui al lui SS Cygni la momentul minimului de strălucire şi a stabilit, în 1954, natura sa binară. De clasa U Geminorum pot fi apropiate variabilele Z Camelopardalis, care prezintă mari analogii în curba de lumină şi în spectru.

Stelele din clasa R Coronae Borealis se caracterizează printr-o strălucire constantă în timpul maximului. După cum a arătat Sterne în 1935, amplitudinea variaţiilor luminoase în timpul minimelor şi intervalele care le separă sînt distribuite complet la întîmplare. Studii spectroscopice foarte detaliate asupra stelei R. Coronae Borealis au fost făcute de către Joy şi N.L. Humason din 1933, apoi, în 1935, de către L. Berman care a găsit o foarte mare abundenţă a carbonului în atmosferă, şi, în 1949, în timpul descreşterii strălucirii şi al minimului, de către G.H. Herbig. J.O. Keefe a făcut, în 1939, o încercare de interpretare a variaţiilor strălucirii.

Clasa mai curînd eterogenă a variabilelor RW Aurigae a fost introdusă de către Parenago în 1932, luînd în considerare în principal caracteristicile fotometrice; dimpotrivă, un rol determinant în definiţia dată de către Joy (1945) pentru variabilele T Tauri care au caracteristici analoage, l-au jucat criteriile spectroscopice. Acestea din urmă sînt variabile pitice neregulate, situate în nebulozităţi întunecate; ele au spectre cu linii de emisie. După P.N. Kolopov (1955), cea mai mare parte dintre variabilele RW Aurigae aparţin unor asociaţii T; se pare că acestea sînt stele foarte tinere. Împreună cu variabilele „Herbig-Haro", descoperite în 1953 în nebuloasa Orion şi prezentînd linia H în emisie, ele constituie un grup de stele deosebit de ciudate şi de interesante.

NOVELE. Numărul novelor descoperite în Galaxia noastră este de peste 150 (C. Payne-Gaposchkin, 1957). Cele mai cunoscute sînt: Nova Persei, 1901; Nova Aquilae, 1918; Nova Cygni, 1920; Nova (DQ) Herculis, 1934.

Distribuţia novelor galactice a fost studiată de către D.B. McLaughlin (1936 şi 1945), I.M. Kopilov (1955) şi Payne-Gaposchkin (1957): novele apar în principal în direcţia centrului galactic; ele populează de asemenea un subsistem de aplatizare intermediar şi par să se situeze astfel între populaţiile clasice de tip I şi II ale lui Baade. McLaughlin a publicat în 1936 o curbă de lumină schematică, care se potriveşte pentru cele mai multe dintre nove.

Mai mult de 40 de nove au fost observate în M 31 (H.C. Arp, 1956) şi în alte cîteva galaxii vecine cum ar fi Norii lui Magellan, M 33. Studiul novelor din M 31 i-a permis lui Arp să stabilească o relaţie între magnitudinea absolută la momentul maximului de strălucire şi viteza de declin: novele foarte rapide, rapide şi lente ating respectiv magnitudinile absolute medii de — 8,3, — 7,3 şi — 6,1.

S-au făcut numeroase cercetări spectroscopice privind novele, iar interpretarea lor a devenit din ce în ce mai sigură (McLaughlin, 1937 — 42). Procesul de explozie a novelor este astăzi destul de bine cunoscut (vezi pp. 594—603).

SUPERNOVELE. Din 1895 pînă în 1920 a fost descoperită o duzină de nove, în diferite galaxii, fără a se înțelege însă clar caracterul lor real, într-o epocă în care natura extragalactică a acestor nebuloase era încă controversată. H. Shapley este primul care și-a dat seama, în 1917, că novele pot să facă parte din două clase foarte diferite: novele normale sau ordinare, și supernovele, diferențele de magnitudine absolută la maximul de strălucire fiind de ordinul 8 pînă la 10. De fapt, novele strălucitoare observate în sistemele exterioare sînt supernove. Între 1920 și 1933 au fost descoperite încă alte patru astfel de obiecte. Începînd din 1936, F. Zwicky întreprinde căutarea lor în 175 de cîmpuri pe care le fotografiază sistematic cu ajutorul telescopului Schmidt de 45 de cm instalat de curînd la Mount-Palomar; între 1936 și 1941 au fost astfel descoperite 18 supernove. Zwicky a stabilit că frecvența medie este de o supernovă pe galaxie la fiecare 430 de ani.

În 1940 R. Minkowski a stabilit existența a două tipuri de supernove: tipul I care grupează obiectele cele mai luminoase ($M_{pg} = -18$) și tipul II ($M_{pg} = -15$) ale căror spectre sînt radical diferite. Studiile spectroscopice ale acestor obiecte abia începuseră să fie abordate în 1937, dată la care Minkowski și Humason au obținut niște serii frumoase de spectre pentru două supernove de tip I descoperite în I.C. 4182 și N.G.C. 1003. Spectrul pentru S.N. 1960 din N.G.C. 4496 observat de către J. Dufay, D. Chalonge și Mlle M. Bloch, seamănă foarte bine cu cel pentru S.N. din 1937 apărută în I.C. 4182. Supernovele de tip II par să aibă spectre analoage cu cele ale novelor ordinare, cu viteze de expansiune de ordinul a 5000 pînă la 10 000 km/s. După mai mult de 20 de ani de cercetări, spectrele supernovelor de tip I nu au putut fi încă interpretate.

Nebuloasa filamentoasă Crab (M.1), rămășiță a supernovei galactice din 1054, a făcut obiectul unor studii detaliate ale lui Baade și Minkowski (1942); ea a fost identificată ca o radiosursă intensă de către J.G. Bolton și C.S. Stanley în 1949; radiația sa în continuumul vizibil este foarte puternic polarizată.

J. GALAXIA. MATERIA INTERSTELARĂ

Pentru astronomii secolului al XIX-lea, spațiul dintre stele era complet lipsit de materie, așa încît descoperirea atomilor, a moleculelor și a granulelor de praf în spațiu este una dintre marile achiziții ale astrofizicii secolului al XX-lea. Primele observații ale acestei materii interstelare datează de la începutul secolului. Dar aceste fapte contrastau atît de mult cu ideile acelor vremuri și implicau schimbări atît de mari în cunoașterea Galaxiei noastre încît a fost nevoie de o perioadă de douăzeci — treizeci de ani pentru a se impune[11].

NEBULOASELE OBSCURE ALE GALAXIEI. Aceste descoperiri sînt legate, așa cum se întîmplă adesea în astronomie, de mari progrese tehnice: fotografia și spectrografia. Prima observație este cea a lui E.E. Barnard (1857—1923), care a descoperit nebuloasele obscure care astăzi îi poartă numele. Studiind unele fotografii făcute în California la sfîrşitul secolului, cu un obiectiv de 15 cm diametru, el a observat că anumite părţi strălucitoare ale Căii Lactee conţineau regiuni negre, practic lipsite de stele. Era ca şi cum în anumite părţi stelele ar fi fost şterse. M. Wolf, observînd, în 1890, frumoasa nebuloasă strălucitoare „America de Nord“, constatase de asemenea că ea este însoţită de nori întunecaţi, fără a înţelege însă natura acestui fenomen. Aceste cercetări au fost continuate la Mount-Hamilton şi la Observatorul Yerkes, iar Barnard a publicat diferite cataloage de nebuloase obscure; ultimul, publicat în 1927, după moartea sa, conţinea 349 de obiecte.

---

[11] Cu privire la structura Galaxiei noastre, vezi și studiul lui P. Couderc, pp. 594—603.

Cu privire la natura acestor nebuloase nu mai exista atunci nici o îndoială: era vorba de nori întunecaţi analogi celor din atmosfera noastră, care ne împiedică să vedem stelele mai îndepărtate. Într-adevăr, cealaltă teorie, a absenţei efective a stelelor din anumite regiuni ale Universului nostru, conducea la considerarea acestor spaţii vide ca nişte tuneluri care se termină exact la observatorul terestru. Această construcţie geocentrică a Universului era atît de puţin satisfăcătoare încît sîntem surprinşi să constatăm cît de greu le-a fost anumitor astronomi, printre care însuşi Barnard, să accepte existenţa norilor întunecaţi.

Ultimele îndoieli au fost risipite de frumoasele fotografii ale nebuloaselor spirale obţinute în 1918 de H.D. Curtis cu reflectorul Crosley de la Observatorul Lick. Analogia acestor aştri cu universul nostru local era atunci admisă în mod curent şi apariţia unor mari nori absorbanţi care ascundeau unele dintre aceste spirale făcea să se înţeleagă natura exactă a „norilor lui Barnard“.

Pe de altă parte, studiul nebuloaselor gazoase înregistrase progrese foarte importante. Natura nebuloasei din Orion era cunoscută din 1864; primul spectru al acestui obiect arătase că era vorba de un gaz luminescent. Dar, în 1912, W.M. Slipher a arătat că nebulozitatea care înconjură Pleiadele are un alt caracter şi că lumina sa poate rezulta, pur şi simplu, din difuzia de către particule a luminii stelelor celor mai strălucitoare. Teoria lui H.N. Russell (1877—1939), verificată imediat de E.P. Hubble (1889—1953), a arătat că stelele cele mai fierbinţi, de tip spectral mai puţin avansat ca B3, sînt înconjurate de nebuloase cu emisie, iar cele mai puţin fierbinţi, de nebuloase cu difuzie. Pentru primele, radiaţia ultravioletă a stelelor excită atomii din spaţiul înconjurător; pentru celelalte, această radiaţie este prea slabă şi numai difuzia se manifestă. Norii întunecaţi ne apar atunci ca nebuloase neluminate. Recent calcule precise au confirmat aceste concepţii în cele mai mici detalii. Înainte de a prezenta diferitele ipoteze emise cu privire la natura particulelor absorbante, să semnalăm mai întîi o altă descoperire importantă făcută la începutul acestui secol.

MEDIUL INTERSTELAR. În 1904, J.F. Hartmann a făcut măsurători foarte precise ale vitezei radiale a stelei δ Orionis, a cărei oscilaţie fusese semnalată de H. Deslandres. El a confirmat că era vorba de o stea dublă spectroscopică a cărei mişcare în jurul centrului de greutate se traducea prin variaţii ale vitezei radiale care oscilau între —65 şi +135 km/s, cu o perioadă de 5,7325 zile. Toate liniile oscilau astfel în jurul poziţiei lor medii, în afară de linia de 3 934 Å a calciului, care rămînea perfect staţionară, viteza corespunzătoare fiind egală cu +16 km/s. Hartmann a explicat imediat această linie foarte fină prin absorbţia într-un nor de calciu interpus între stea şi noi. El a amintit că în 1901 se observase că spectrul novei apărute în Perseu conținea, pe lîngă liniile de emisie normale, aceeași linie fină și încă una, situată pe la 3696 Å, care se evidențiase net.

Această legătură cu o stea explozivă, emițînd probabil un nor de materie, sau mai curînd teama pe care o au în general savanții de a aduce inovații prea mari, i-a făcut pe mulți astronomi să creadă că acest nor este legat de stea și o înconjură ca o mică anevelopă? Oricum ar fi, au fost necesari aproape douăzeci de ani pentru ca natura într-adevăr interstelară a acestei absorbții să fie stabilită. În 1920 R.K. Young mai apăra încă cu înverşunare natura circumstelară a norilor de calciu pe care îi considera caracteristici pentru dublele spectroscopice. Între timp, în 1919, Miss Heger descoperă cele două linii interstelare ale sodiului, situate în galben. Această problemă a fost clarificată abia în 1920, cînd A.S. Eddington (1882—1944), într-o conferință ținută la Royal Society reușește să explice în detaliu observațiile și să deducă o densitate medie a atomilor de calciu în spațiul cosmic de 10^{-24} g/cm^3.

Datorită telescoapelor din ce în ce mai puternice, echipate cu spectrografe cu dispersie din ce în ce mai mare, astronomii au descoperit numeroase alte linii interstelare pe care le-au identificat cu atomii de potasiu, de titan ionizat, de fier neutru. Acestor atomi li s-au adăugat curînd moleculele CH, CN și CH^+ pentru care Mc Kellar prevăzuse zece linii. Acestei liste trebuie să-i adăugăm două linii neexplicate și opt benzi neclare de origine necunoscută. Cele mai multe dintre aceste linii au fost descoperite în anii 1937—1941 la Mount-Wilson de către W. S. Adams și Dunham. Finețea liniilor interstelare, care îi frapează pe toți spectroscopiștii nu i-a scăpat lui Hartmann. Acest aspect permite astăzi prin el însuși identificarea liniilor interstelare atunci cînd apar în spectrele cu linii imprecise. Finețea liniilor se explică în cadrul fizicii mediului interstelar. Acesta a fost considerat multă vreme ca fiind continuu, pînă în momentul în care observațiile făcute cu spectrograful *coudé* de la Mount-Wilson au permis descompunerea liniilor interstelare ale anumitor stele în mai multe componente: fiecare corespunde unui nor care se deplasează cu viteza sa proprie, mişcîndu-se în interiorul Galaxiei. Interpretarea observațiilor le-a permis astrofizicienilor să-și facă o idee precisă despre acest mediu interstelar. Atomii sînt adesea ionizați, dar, sarcinile pozitive fiind compensate de prezența electronilor, mediul este neutru din punct de vedere electric.

S-a emis ipoteza că absorbția interstelară s-ar explica, pur și simplu, prin difuzarea luminii de către atomi și molecule. Dar această explicație este în dezacord cu numeroase fapte. Deși norii întunecați au dovedit că materia absorbantă nu este repartizată uniform, în lipsa a ceva mai bun, astronomii au trebuit mai întîi să măsoare absorbția în ipoteza unei repartiții uniforme. Cataloagele de nebuloase extragalactice arătaseră că nici unul dintre aceste obiecte nu se găsește în apropierea planului Căii Lactee. O interpretare riguroasă a explicat acest fapt prin prezența unui strat absorbant de cîteva sutimi de parseci grosime, a cărui absorbție este atît de mare încît raza luminoasă care traversează Galaxia noastră perpendicular pe planul său, în vecinătatea Soarelui, pierde în jur de 35% din energia sa.

O estimare precisă a absorbției pentru o traiectorie determinată a fost dată de către R. Trumpler (1886—1956), care a publicat în 1930 un studiu interesant cu privire la roiurile de stele din Galaxia noastră. Întrucît stelele cele mai strălucitoare din roiuri au aceeași natură și, în consecință aceeași strălucire intrinsecă, măsurarea strălucirii lor aparente permite deci calcularea distanţei lor cu ajutorul legilor fotometriei. Acest calcul l-a condus pe Trumpler la un rezultat foarte ciudat: roiurile stelare aveau diametre liniare cu atît mai mari cu cît erau mai îndepărtate. Pentru a evita această concluzie, Trumpler a trebuit să presupună că distanţele stabilite de el erau inexacte, şi să admită că la scăderea strălucirii cu pătratul distanţei, se adăuga o absorbţie uniformă, cel puţin pe plan statistic. Valoarea medie propusă pentru această absorbţie — 0,67 magnitudini pe kiloparsec, a permis înlăturarea acestei dificultăţi. Valoarea dată de el, confirmată de toate măsurătorile ulterioare, este foarte mare: străbătînd 1100 de parseci, o rază luminoasă pierde jumătate din energia sa.

Absorbţia măsurată de Trumpler în cazul luminii albastre, variază cu lungimea de undă a luminii alese. Teoria difuziei a lui Mie publicată în 1908, a arătat că această lege de variaţie depinde în esenţă de diametrul particulelor absorbante. Pentru particule foarte mari, absorbţia este aceeaşi pentru toate radiaţiile şi compoziţia luminii nu se modifică. Pentru particule foarte mici, cum sînt atomii şi moleculele, difuzia luminii este mult mai importantă în albastru decît în roşu (variaţie cu $1/\lambda^4$) şi lumina care traversează mediul absorbant devine mai roşie. Pentru particule de diametru intermediar, înroşirea trebuie să fie mai puţin puternică, iar cunoaşterea exactă a legii de variaţie trebuie să permită măsurarea diametrelor acestor particule. Aceste consideraţii explică de ce atît de mulţi astronomi s-au dedicat punerii în evidenţă, apoi măsurării acestei înroşiri interstelare. Numeroase măsurători, realizate cu tehnici din ce în ce mai rafinate, fotografice (D. Chalonge şi colaboratorii săi) sau fotoelectrice (J. Stebbins şi A.E. Whitford), au permis să se verifice înroşirea stelelor îndepărtate şi să se stabilească faptul că legea de variaţie este aproximativ în $1/\lambda$.

Pentru a explica aceste rezultate, Shalén a imaginat existenţa unor particule metalice de fier. El a obţinut pentru diametrele lor valori apropiate de 0,1 mm. Natura metalică a micilor sfere absorbante nu este prea convingătoare şi numeroşi teoreticieni, mai ales H.C. van de Hulst, au arătat că şi granulele de praf izolante pot explica legea de absorbţie observată. În ambele cazuri se găseşte o densitate în spaţiu de ordinul 10^{-26} g/cm^3.

Problema absorbţiei în spaţiul interstelar este şi mai mult complicată de faptul că lumina anumitor stele îndepărtate este parţial polarizată.

Se ştie că lumina este o radiaţie electromagnetică avînd vibraţii transversale. Pentru lumina naturală, valoarea medie a proiecţiei vibraţiei pe două direcţii perpendiculare între ele, şi perpendiculare pe direcţia de propagare a undei luminoase, este egală. Or, astronomii americani W. A. Hiltner şi J. A. Hall au constatat independent unul de altul că anumite stele prezintă polarizări de cîteva unităţi la sută. În general, vibraţia privilegiată (vectorul electric al lui Fresnel) este paralelă cu planul Galaxiei. Este interesant de remarcat că această descoperire, cu totul neaşteptată, a fost făcută căutîndu-se polarizarea prevăzută teoretic de Chandrasekhar pentru stelele duble în timpul unei eclipse parţiale.

Acest efect, care nu a fost încă riguros explicat, pare să fie legat de absorbţia selectivă de către cristale alungite, orientate de cîmpul magnetic general al Galaxiei noastre.

Absorbţia de către particulele norilor şi, în general din spaţiul interstelar, este un fenomen foarte important. Ignorarea sa i-a condus pe astronomii de la începutul secolului la o totală necunoaştere a dimensiunilor Galaxiei noastre. Acelaşi fenomen ne împiedică astăzi să o cunoaştem mai bine. Din fericire, radiaţiile din domeniul undelor radio sînt mult mai puţin absorbite şi permit completarea informaţiilor noastre acolo unde metodele optice nu pot fi aplicate.

K. NEBULOASELE EXTRAGALACTICE

UNIVERSURILE-INSULE. La începutul acestui secol astronomii cunoşteau un număr foarte mare de nebuloase, iar J.L.E. Dreyer (1852—1926) întocmise în 1888 *New General Catalogue* (*Noul Catalog General*) al nebuloaselor şi roiurilor stelare (*N.G.C.*). Ţinînd cont şi de cele două liste suplimentare, publicate în 1895 şi 1908, erau astfel catalogate aproape 15 000 de nebuloase şi roiuri.

Printre nebuloase, se putea face uşor distincţia între nebuloasele cu spectru de emisie, în general foarte albastre, şi nebuloasele albe. Primele au putut fi explicate ca nebuloase gazoase, în timp ce natura nebuloaselor albe, cu formele lor atît de curioase de spirale şi de ace, rămînea încă o enigmă. Filozofii secolelor precedente emiseseră ipoteza că aceste obiecte erau adevărate „universuri-insule", formate din miliarde de stele şi analoage Căii noastre Lactee. Dar acestea erau speculaţii pur gratuite şi nebazate pe fapte ştiinţifice.

În 1925, în urma unor controverse uneori foarte animate astronomii au trebuit să admită în unanimitate că aceste nebuloase erau într-adevăr sisteme analoage Galaxiei noastre.

La începutul acestui secol au fost puse în funcţie un număr de telescoape mari. Telescopul Crosley a fost inaugurat în 1908 la Observatorul Lick din Mount-Hamilton, apoi au intrat în funcţiune la Mount-Wilson un telescop de 1,52 m în 1908 şi unul de 2,54 m în 1918. Aceste frumoase instrumente urmau să asigure obţinerea a numeroase fapte noi care vor permite rezolvarea acestei probleme.

Fotografiile obţinute la Lick şi la Mount-Wilson au evidenţiat structura spirală a numeroase nebuloase, ca şi norii absorbanţi atît de caracteristici pentru nebuloasele alungite. Aceste clişee au arătat de asemenea că numărul lor este neînchipuit de mare. Dacă E.A. Fath estima în 1917 numărul nebuloaselor care puteau fi fotografiate la 160 000, H.D. Curtis evalua acest număr la un milion şi explica recolta sa mai mare prin precizia sporită a instrumentului său. Totodată el susţinea că în ceea ce priveşte natura lor, nu există nici o deosebire între marile spirale ca Nebuloasa Andromeda şi micile nebuloase eliptice care nu au decît 12″ diametru. Diferenţa de distanţă era suficientă pentru a explica diametrele şi aspectele lor diferite.

Încă din 1912 se obţinuseră primele spectre ale nebuloaselor extragalactice şi dacă unii trăgeau concluzia că aceste spectre erau asemănătoare celui pe care l-ar da un roi de stele analoage cu Soarele, alţii remarcau lipsa de contrast a acestor spectre şi obiectau că multe prezentau pe alocuri linii de emisie ale hidrogenului. A fost imposibil să se demonstreze cu certitudine că aceste nebuloase albe erau roiuri de stele. Toate încercările de rezolvare a problemei prin fotografierea părţilor centrale au rămas zadarnice; părţile exterioare ale braţelor se descompuneau în filamente pe care unii astronomi le interpretau ca fiind stele, dar în care alţii vedeau filamente de materie nebulară. Aceste lucrări au permis totuşi publicarea unei serii de fotografii reuşite.

Între timp, în 1917, G.W. Ritchey anunţa apariţia unei stele noi pe un clişeu recent al nebuloasei NGC 6946. Acest astru, invizibil pe clişeele precedente, avea să dispară în scurt timp. Această descoperire a făcut senzaţie şi astronomii care dispuneau de clişee vechi ale nebuloaselor le-au inspectat cu grijă. Procedînd astfel H.D. Curtis a găsit trei stele noi de magnitudinea 14, una apărută în 1915 în NGC 4527 şi două în 1901 şi 1914 în NGC 4321. La această listă ar trebui adăugată S Andromedae, apărută în marea nebuloasă în 1885, şi Z Centauri, observată în 1895 de către Fleming în apropierea centrului lui NGC 5253; aceste două stele aveau la maximum magnitudinea 7.

Curtis a considerat că aceste stele erau analoage novelor galactice şi a dedus din compararea strălucirilor că nebuloasele albe trebuiau să fie universuri-insule analoage propriului nostru sistem. Stimulaţi de aceste succese, diferiţi observatori au descoperit în Nebuloasa Andromeda trei stele noi, ale căror magnitudini la maximum erau aproximativ 17. H. Shapley, la rîndul său, a interpretat aceste rezultate şi a tras concluzia că dacă stelele noi din Andromeda erau într-adevăr analoage celor 26 de nove cunoscute pe atunci în Galaxia noastră, distanţa pînă la Andromeda era de ordinul a un milion de ani-lumină, aşa cum afirmase Curtis. Dar acest rezultat îi părea inacceptabil lui Shapley. El invoca două motive principale, dintre care primul era că S Andromedae ar fi trebuit să aibă o strălucire extraordinară, de o sută de milioane de ori mai mare decît cea a Soarelui, ipoteză care îi părea inadmisibilă. Celălalt argument era mai solid. Un astronom de la Observatorul din Mount-Wilson, Van Maanen (1884—1946), mare specialist în studierea mişcărilor stelare proprii, a avut ideea să compare clişee vechi şi recente ale frumoasei nebuloase M 101, situată în constelaţia Ursa Mare (trei clişee luate în 1899, 1908 şi 1914 cu reflectorul Crosley, şi două clişee luate în 1910 şi 1915 cu telescopul de 1,50 m de la Mount-Wilson). El a dedus din această comparaţie existenţa unor mişcări aparente ale diverselor condensări din braţele nebuloase. Măsurătorile sale, care concordă foarte bine unele cu altele, şi pe care le-a publicat cu numeroase detalii, indicau o deplasare de ansamblu de ordinul a 0,01″ pe an. La această translaţie se adăugau o uşoară dilataţie şi mai ales o rotaţie de ansamblu în sens opus acelor unui ceasornic, cu perioada 85 000 de ani. La 45′ de centru deplasările anuale observate erau de 0,022″. Aceste rezultate erau în totală contradicţie cu distanţa de un milion de ani-lumină, pentru că mişcările aparente observate ar fi corespuns unor viteze liniare apropiate de cea a luminii.

Shapley a dedus din aceste rezultate ale lui Van Maanen că sistemul Messier 101 trebuia să fie de 400 de ori mai mic decît Galaxia noastră şi situat la 32 000 de ani-lumină. La această distanţă, ar trebui să poată fi uşor observate stele analoage celor din Galaxia noastră. Cum astfel de stele nu puteau fi observate, Shapley a tras concluzia că nebuloasele albe erau într-adevăr difuze şi că viteza filamentelor de materie era de ordinul a 1000 km/s. Această controversă a conţinuat. În 1919 a intrat în dispută un al treilea savant, suedezul K. Lundmark care se găsea pe atunci în Statele Unite. El a reluat discuţia asupra Nebuloasei din Andromeda ţinînd seama de descoperirea recentă a 32 de nove suplimentare în această spirală. Lundmark a arătat că cu excepţia lui S And ansamblul observaţiilor era omogen şi permitea, prin comparare cu novele galactice, să se deducă pentru Nebuloasa Andromeda o distanţă de 650 000 de ani-lumină. El admitea de asemenea că S And era o novă deosebit de strălucitoare, o „supernovă" a cărei strălucire egala strălucirea a 100 000 de nove ordinare.

S-a ajuns astfel la un impas, pentru că Van Maanen şi-a extins, între timp, rezultatele la 7 nebuloase. Lundmark a putut obţine spectrele anumitor detalii ale Nebuloasei M 33 din constelaţia Triunghiul şi a arătat că, pe lîngă nebuloasele gazoase caracteristice, există şi obiecte care au aceleaşi spectre ca şi stelele; el a identificat aceste detalii cu stelele cele mai luminoase ale Galaxiei noastre. Aceasta i-a permis să deducă pentru M 33 o distanţă de 1 milion de ani-lumină. Această reducere la stele a părţilor exterioare ale nebuloaselor strălucitoare a fost pusă în discuţie de adversarii universurilor-insule.

În ceea ce-l priveşte pe Lundmark, acesta a măsurat din nou clişeele lui M 101 care i-au permis lui Van Maanen să găsească mişcări proprii atît de mari. Cu toate că a folosit aceleaşi instrumente de măsură, el nu a ajuns la aceleaşi rezultate şi a tras concluzia că nu există mişcări proprii.

A fost nevoie de descoperiri cruciale pentru a li se da definitiv dreptate lui H.D. Curtis şi K. Lundmark. E.P. Hubble (1889—1953) este cel care a anunţat această descoperire printr-o scrisoare adresată la sfîrşitul lui decembrie 1924 Congresului Societăţii Astronomice Americane (American Astronomical Society).

El a anunţat observarea şi studiul precis al curbelor de lumină a 22 de stele variabile din M 33 şi a 12 stele variabile din M 31. Aceste stele erau indiscutabil cefeide identice cu cele descoperite în 1910 de către Miss H.S. Leavitt în Norii lui Magellan. Aspectul curbelor de lumină nu putea lăsa nici o îndoială. El arăta că perioadele variau cu strălucirea ca în cazul cefeidelor din Galaxia noastră şi „relaţia perioadă luminozitate" calibrată recent de Shapley dădea pentru cele două nebuloase o distanţă de 285 000 parseci, fapt care-i permite lui Hubble să tragă concluzia că cea mai mare incertitudine este legată probabil de poziţia zero-ului curbei lui Shapley.

Aceste rezultate, precizate şi extinse şi la alte nebuloase, au fost publicate în anii următori în „Astrophysical Journal". Această reuşită extraordinară nu a putut fi realizată decît mulţumită grandiosului telescop de 2,50 m de la Mount-Wilson. Dezbaterea era de acum încheiată: ea arată în ce măsură trebuie să se îndoiască cercetătorul de „bunul simţ" care nu permisese să se admită strălucirea supernovelor, şi arată totodată cîte deservicii pot aduce măsurătorile greşite.

E. Hubble a consacrat încă mult timp studiului nebuloaselor extragalactice. Clasificarea dată de el pentru aceste obiecte, după forma lor (1926), a fost universal adoptată. Se disting nebuloasele eliptice, fără o structură aparentă, nebuloase spirale care se subîmpart în două clase după cum braţele spiralelor pornesc direct din nucleu (tipul S) sau dintr-o bară (SB). După importanţa mai mare sau mai mică a braţelor, se adaugă la simbolurile S sau SB literele *a*, *b* sau *c*. Există de asemenea cîteva nebuloase neregulate care nu pot fi clasate.

În cursul anilor care au urmat, s-au întreprins numeroase studii de detaliu cu telescoapele de 2,50 m de la Mount-Wilson şi de 5 m de la Mount-Palomar. Măsurătorile fotometrice au permis estimarea numărului de stele din aceste nebuloase la sute de miliarde. Măsurătorile vitezelor radiale ale diferitelor puncte ale nebuloaselor au permis să se cunoască masa spiralelor şi au confirmat numărul lor de stele. Cu toate acestea două probleme au suscitat multe dificultăţi. Una dintre ele, însuşi sensul rotaţiei spiralelor, pare astăzi lămurită; braţele se înfăşoară în jurul nucleului ca un fir pe o bobină. Dar mecanismul formării braţelor spirale rămîne misterios, cu tot numărul mare de lucrări, printre care cele ale lui B. Lindblad.

EXPANSIUNEA UNIVERSULUI. Prima măsurare a vitezei radiale a unei nebuloase a fost efectuată în septembrie 1912 de către W.H. Slipher pentru Nebuloasa Andromeda, pentru care el a găsit o viteză de apropiere de 300 km/s. Astfel de măsurători sînt foarte dificile din cauza slabei străluciri a nebuloaselor extragalactice şi nu a fost posibilă extinderea listei lor decît atunci cînd astronomii au dispus de spectografe mai luminoase şi de obiective fotografice speciale, cu deschiderea foarte mare. În 1929, se cunoşteau 46 de viteze radiale; astronomii au fost frapaţi de valorile lor pozitive mari, dar interpretarea lor a fost dificilă la început. În ianuarie 1929, după un studiu atent, E. Hubble reuşeşte să pună ordine în aceste date.

Într-adevăr, putînd determina distanţele a 24 dintre aceste nebuloase, acest astronom a arătat că totul se petrecea ca şi cum ar fi avut loc suprapunerea următoarelor două efecte:

1. Observatorul legat de Galaxia noastră se deplasează cu o viteză de 280 km/s spre un punct a cărui ascensie dreaptă este de 18 h 30 m şi declinaţia de 36° (în constelaţia Lira);

2. La această mişcare se adaugă pentru fiecare nebuloasă o viteză radială pozitivă proporţională cu distanţa, constanta de proporţionalitate fiind de 500 km/s pe megaparsec (constanta lui Hubble, valoare atribuită în epoca aceea). În lista nebuloaselor utilizate în acest studiu figura o nebuloasă cu o viteză radială de 1090 km/s; una dintre cele 44 de viteze măsurate de Slipher atingea 1800 km/s.

Era normal ca Hubble să propună utilizarea legii sale pentru determinarea distanţelor nebuloaselor. Publicarea legii lui Hubble era dealtfel însoţită de o notă a lui M. Humason care anunţa valoarea de 3779 km/s pentru mica nebuloasă NGC 7619. În 1931 nebuloasele cele mai slabe care au fost măsurate indicau o viteză radială de 19 600 km/s (roiul Leul). În 1960 s-a depăşit valoarea de 100 000 km/s, o treime din viteza luminii. Importanţa acestor descoperiri şi influenţa lor asupra speculaţiilor cosmologice vor fi semnalate mai departe[12].

Astronomii de la Mount-Wilson aşteptau cu nerăbdare punerea în funcţiune a telescopului de 5 m de la Mount-Palomar pentru a aborda problemele care depăşeau posibilităţile telescopului lor de 2,50 m. Punerea sa în funcţiune fiind întîrziată de noul conflict mondial, W. Baade a abordat cu mijloacele existente problema studiului nucleului şi al companionilor eliptici ai Nebuloasei Andromeda. El considera că acest lucru era posibil cu condiţia de a fi întrunite următoarele condiţii: noapte calmă, oglindă în echilibru termic perfect şi observaţii în lumină roşie pentru a diminua agitaţia termică şi difuzia fotografică. Reuşita a fost completă, clişeele sale fiind printre cele mai frumoase documente din întreaga astronomie.

---

[12] Vezi în legătură cu aceasta studiul lui P. Couderc, pp. 594–600.

Din momentul în care magnificul telescop Hale de 5 m, realizat sub conducerea lui I. S. Bowen, a fost reglat (1949), W. Baade a abordat o altă problemă care decurgea din descoperirea de către el a populaţiilor stelare: era vorba de descoperirea stelelor de „populaţie II" din Nebuloasa Andromeda, îndeosebi de variabilele de tip RR Lyrae. Magnitudinea lor absolută, apropiată de 0, era bine cunoscută, iar distanţa Nebuloasei Andromeda permitea ca ele să fie situate la magnitudinea 23. Aştrii de această strălucire trebuiau să fie perfect accesibili telescopului de la Mount-Palomar. Or, Baade a fost incapabil să-i găsească. Dimpotrivă, el a găsit gigantele roşii de „populaţie II" la magnitudinea de aproximativ 22,5. După studiile făcute asupra roiurilor globulare, rezulta că aceşti aştri au o magnitudine mai mare decît cea a stelelor RR Lyrae cu aproximativ 1,5. Trebuie deci să ne aşteptăm pentru acestea din urmă la magnitudinea 24. Acest rezultat nu putea fi explicat decît printr-o distanţă greşită a Nebuloasei Andromeda. Aceasta era determinată prin relaţia perioadă-luminozitate a cefeidelor. Trebuia să se admită că zero-ul acestei relaţii era prost plasat. Toate rezultatele, şi mai ales descoperirea stelelor RR Lyrae în Norii lui Magellan, au confirmat această descoperire. Să ne amintim de vorbele profetice ale lui Hubble. Dealtfel H. Mineur, prevăzuse de asemenea, în 1944, această corecţie. Valoarea finală a corecţiei nu este încă stabilită cu precizie, dar ea este de ordinul a + 1,5, ceea ce revine la a înmulţi cu 4 strălucirile cefeidelor şi cu 2 distanţele nebuloaselor extragalactice. Constanta lui Hubble era astfel împărţită cu 2 şi devenea 290 km/s pe megaparsec (1952). Această revizuire a scării distanţelor este complicată de faptul că scara magnitudinilor nu este încă bine stabilită pentru aştrii slabi. Au fost propuse şi alte corecţii şi discuţia rămîne deschisă[13].

Studiul radiosurselor extragalactice, întreprins cu receptori cu suprafaţă foarte mare, dă mari speranţe. Puterea de pătrundere a radiotelescopului este poate superioară celei a telescopului fotografic[14].

Să remarcăm că această analiză a rezultatelor obţinute în cursul ultimilor cincizeci de ani în studiul nebuloaselor extragalactice dovedeşte o superioritate incontestabilă a astronomilor americani, care au ştiut să creeze şi să animeze cele mai mari observatoare din lume.

---

[13] Vezi în legătură cu aceasta studiul lui P. Couderc, pp. 597—595.

[14] Această problemă este studiată de J.-F. Denisse, pp. 600—605.

L. ASTROFIZICA TEORETICĂ

1. Descrierea fizică a stelelor

O observaţie implică totdeauna mai mult sau mai puţin o muncă de *analiză;* o serie de observaţii antrenează în general o sinteză. Această transformare a datelor brute într-un limbaj de altă natură, înţelegerea, cu ajutorul legilor fizice, a acestui limbaj, constituie ceea ce se numeşte „teoria". În acest sens foarte larg, este cert că pitagorismul sau cosmogoniile chineze, ca şi cercetările lui Kepler, ţin de domeniul teoriei. Ceea ce se numeşte astăzi „astrofizică teoretică" nu are nici ea un înţeles mai limitat: este vorba de descrierea cu ajutorul unor mărimi fizice (temperaturi, presiuni, mişcări, cîmpuri magnetice...) a regiunilor din stele, din planete, din mediul interstelar... de la care provin radiaţiile observabile. Este vorba, de asemenea, de descrierea mişcărilor aparente ale aştrilor într-un limbaj tridimensional precis. Este vorba, în sfîrşit, de înţelegerea acestor date fizice şi a acestor mişcări în sensul că ele trebuie corelate într-o teorie fizică a evoluţiei Universului, şi a obiectelor individuale care îl compun — în cadrul unei teorii fizice unitare (în raport cu care s-ar putea însă ca fizica actuală să nu reprezinte decît o aproximaţie elementară, aşa cum legea newtoniană a gravitaţiei nu este decît un caz particular, simplu, al legii einsteiniene a gravitaţiei). Problema este ca din acest efort de descriere şi de înţelegere să se degaje *legile* care guvernează echilibrul, evoluţia, comportamentul obiectelor studiate.

Metodele astrofizicii teoretice s-au schimbat mult de un secol încoace, şi pe măsură ce cunoştinţele noastre asupra lumii fizice s-au amplificat, au devenit şi ele de o complexitate crescîndă.

Aceste metode implică bineînţeles aplicarea teoriilor fizice cu privire la spectroscopie şi la interacţiile dintre materie şi lumină. Ele apelează, de asemenea, la instrumente matematice complexe, precum şi, din ce în ce mai mult, la mijloace tot mai puternice de calcul numeric. Într-adevăr, în cursul ultimilor ani teoriile analitice sau sintetice au trecut progresiv de la studiul calitativ, la o precizie cantitativă extremă, numărul cifrelor semnificative în interpretarea datelor devenind din ce în ce mai mare.

Înainte de a încerca să delimităm liniile de gîndire care s-au dezvoltat pînă la „noua astrofizică" pe care o vedem născîndu-se acum, trebuie să subliniem net că nu ar fi existat astrofizică teoretică fără observaţii astronomice, după cum nu ar fi existat nici fără datele şi teoriile fizice. Astrofizica teoretică este un ansamblu de metode: dar astrofizica generală are un singur ţel: cunoaşterea şi înţelegerea Universului, în cadrul legilor fizicii.

TEORIA SFERELOR GAZOASE. ECHILIBRUL CONVECTIV (1860—1910). J. Homer Lane, într-un articol celebru publicat în 1869, a fost primul care şi-a pus problema de a şti care era temperatura şi care era presiunea în regiunile superficiale ale Soarelui. Pornind de la măsurătorile cunoscute atunci ale constantei solare, şi de la legile experimentale cu privire la radiaţia corpurilor calde, pe care le extrapolează mai mult sau mai puţin bine (legea lui Stefan datează abia din 1879), el obține $T_0 = 30\,000$°K. Dar singurul procedeu prin care Lane putea să cunoască atunci densitatea superficială era acela de a „construi un model" al Soarelui: el studiază echilibrul unui gaz perfect distribuit după o configurație sferică în propriul său cîmp gravitațional și, admițînd un echilibru convectiv (toată energia este vehiculată prin mișcări de amestecare), adică o relație adiabatică între presiune, temperatură, densitate, reușește să calculeze (pentru valoarea $\gamma = 5/3$ a raportului căldurilor specifice, corespunzătoare unui gaz monoatomic) variația lui $\rho(r)$ și $T(r)$. El își construiește modelul pînă la $T = T_0$, valoare pentru care obține $\rho = 0{,}00036$.

Acest articol și discuțiile pe care Lane le-a avut cu Simon Newcomb și cu Lord Kelvin au avut un considerabil efect stimulativ. În deceniile următoare, echilibrul sferelor gazoase a fost studiat în mod mult mai aprofundat de către A. Ritter, care a pus realmente bazele teoriei matematice a structurii stelare într-o serie de articole publicate între 1878 și 1883. În aceste articole sînt demonstrate teoremele integrale relative la condițiile fizice în centrul stelelor, care arată că temperatura și presiunea sînt „cel puțin egale" cu anumite valori foarte ridicate, funcții de masa și de raza stelei. Ideile și metodele lui Ritter și ale succesorilor săi imediați sînt desăvîrșite în celebrul tratat al lui R. Emden, *Gazkugeln* (Sfere gazoase) publicat în 1907 și care constituie codificarea unui efort considerabil de formalizare matematică. Această construcție, cu modelele sale omogene și cu politropii săi, avea totuși un conținut fizic destul de limitat. Într-adevăr, ideile cu privire la modul în care este vehiculată energia rămîneau destul de vagi. Lord Kelvin a propus pentru prima oară, încă din 1862, ideea fizică cheie a acestor lucrări, noțiunea de „echilibru convectiv", dar el a aplicat-o în cazul maselor sferice, fără a face cu adevărat o discuție asupra ei, după cum nici Lane și succesorii săi nu o discută.

ECHILIBRUL RADIATIV. CERCETĂRILE LUI K. SCHWARZSCHILD (1900—1910). Cercetările asupra distribuției temperaturilor în *atmosfere*, adică în straturile răspunzătoare de radiația observabilă, provin din ipoteza contrară, aceea a echilibrului „radiativ" (toată energia este vehiculată de la un strat la altul al stelei prin radiație).

Observarea întunecării discului solar i-a permis lui Schuster încă din 1902, să arate că nu mai era corect să se reprezinte atmosfera, așa cum o făcea Lane, printr-o *anumită* temperatură și o *anumită* presiune. Este nevoie de un *model* de atmosferă.

Existența legilor lui Planck și Kirchhoff îi permite lui K. Schwarzschild să exploateze ideile lui Schuster. Pornind de la ipoteza echilibrului radiativ, adică a conservării fluxului de radiație în atmosferă, el rezolvă problema transferului de radiație și construiește modele de atmosfere (1906) pentru cazul în care este realizat echilibrul termodinamic local (este verificată legea lui Kirchhoff). Articolul fundamental al lui Schwarzschild conține pe de altă parte în germene numeroase aspecte ale teoriei atmosferelor stelare: în special rolul gravitației, existența „zonelor convective" etc., sînt deja puse în evidență cu claritate.

Trebuie să notăm caracterul foarte revoluționar al cercetărilor lui Schwarzschild: în 1913, autori ca A. Fowler — printre mulți alții — presupuneau încă o fotosferă nebuloasă difuzantă: totuşi, temperaturile mari ale Soarelui şi ale stelelor ar fi trebuit să înlăture, apriori, chiar de pe atunci, orice ipoteză care nu presupunea atmosfera lor în întregime gazoasă.

PROBLEME CLASICE ALE TRANSFERULUI (1920—1940). În cursul anilor următori, dezvoltarea fizicii a îmbogăţit arsenalul astrofizicienilor cu noi arme. Să le enumerăm succesiv: în 1905, memoriile lui Einstein cu privire la relativitate şi mai ales cu privire la efectul fotoelectric; în 1913, teoria atomului a lui Bohr; în 1920—21, teoria ionizării a lui Megh Nad Saha; în 1925, mecanica ondulatorie etc. Proprietăţile locale ale materiei şi interacţiunea sa cu cîmpul de radiaţie devin destul de bine cunoscute pentru ca soluţia precisă a ecuaţiilor de transfer a radiaţiei să poată permite o comparaţie cu experienţa.

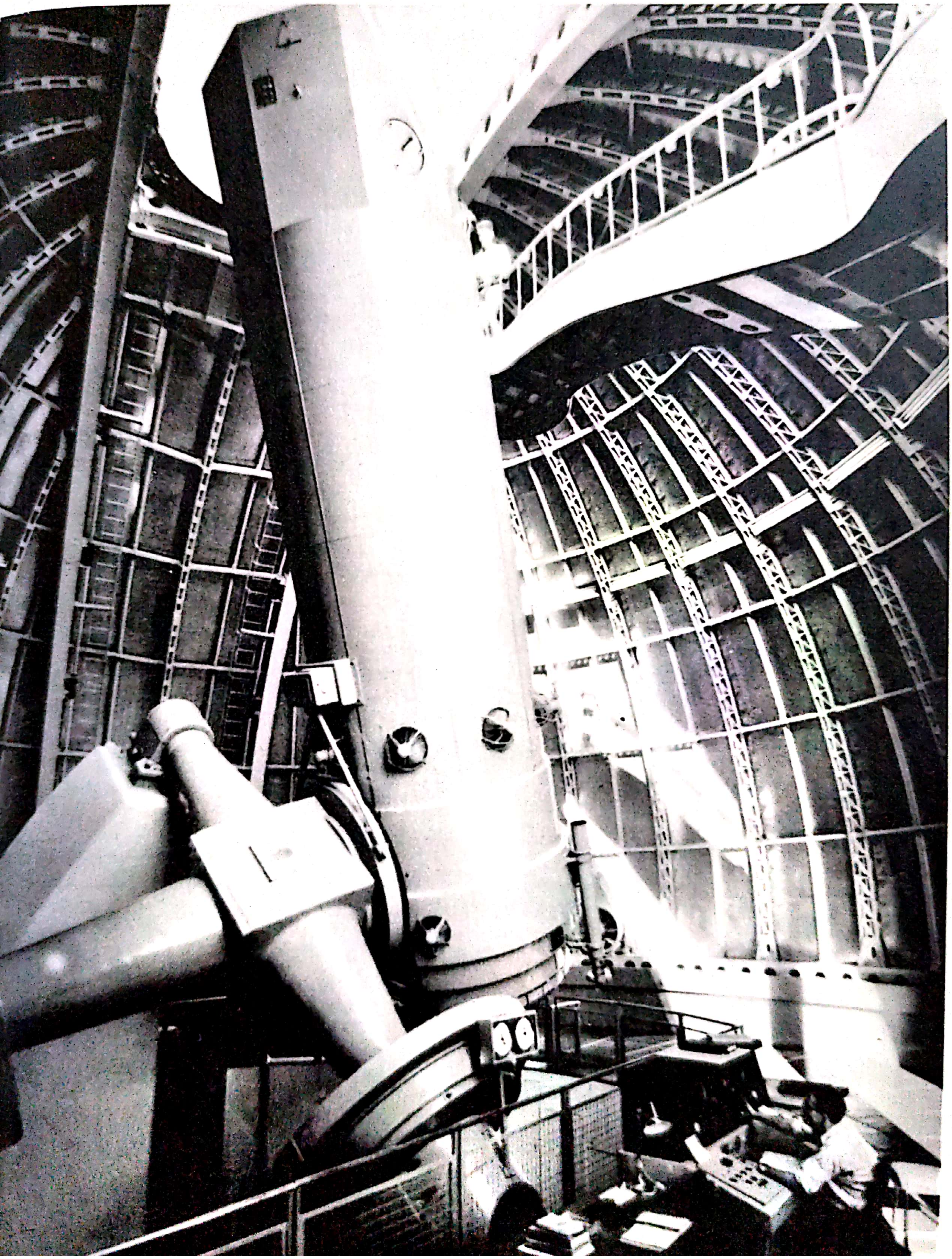
Evident, deocamdată nu se studiază decît spectrul continuu: formarea liniilor este încă considerată o problemă complexă. În cursul perioadei 1920—1950, cercetările s-au concentrat asupra soluţiei problemei transferului în spectrul continuu, în cazul echilibrului *radiativ*, considerat tipic pentru atmosferele stelare.

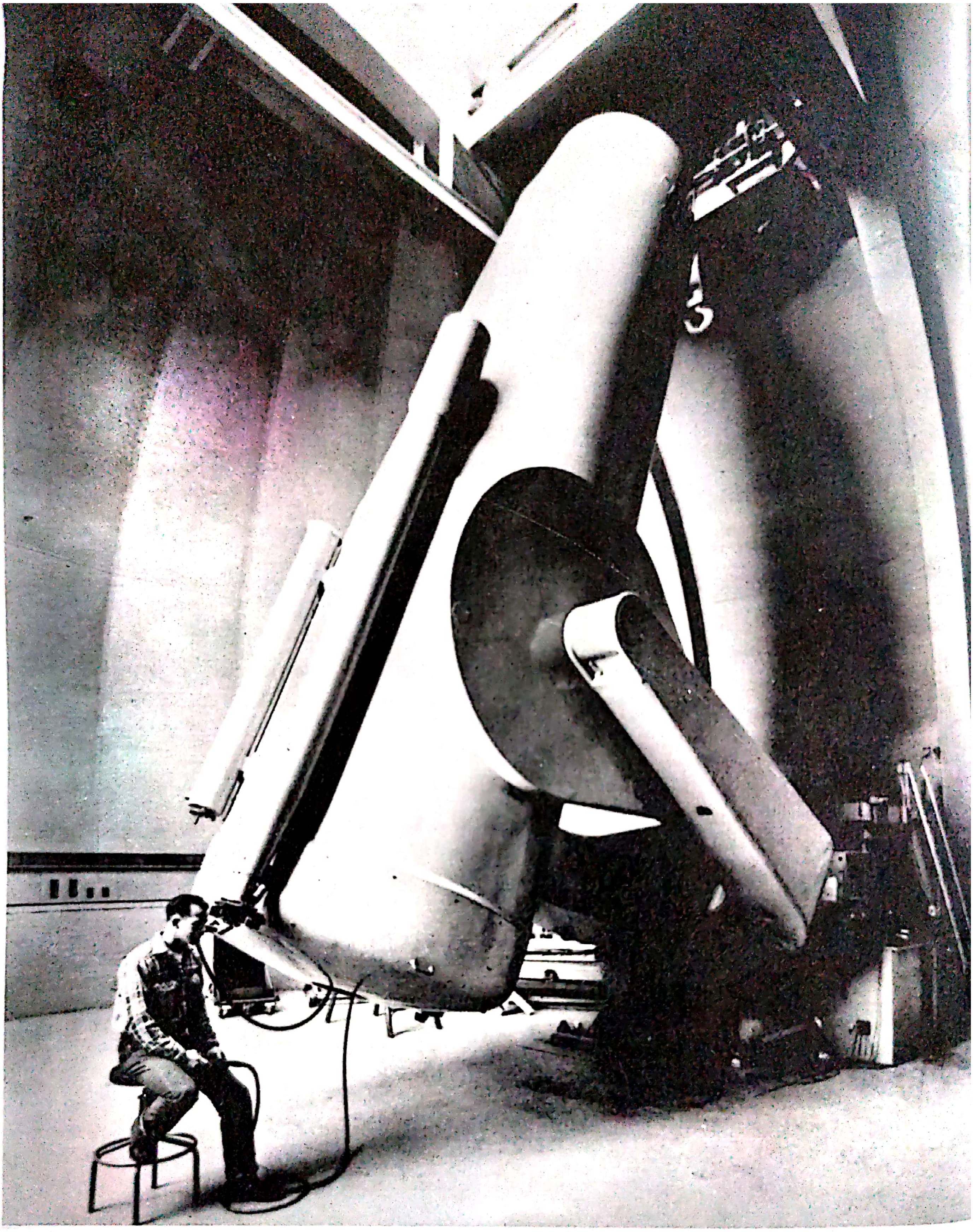
Cercetători ca Lindblad, în 1920, apoi Lundblad (1923) şi mult mai tîrziu Chalonge, Kourganoff, Barbier, Chandrasekhar, Münch etc., trec de la observaţiile asupra întunecării discului solar la „modele empirice" pe care, în limita preciziei determinărilor, le găsesc în echilibru radiativ.

În acelaşi timp Milne, Eddington, apoi numeroşi astrofizicieni (Hopf, Pannekoek, Rosseland, Unsöld, Chandrasekhar, Ambarţumian, Strömgren, Kourganoff) aprofundează studiul matematic al ecuaţiilor de transfer, trecînd treptat de la soluţia cazului gri (coeficientul de absorbţie nu depinde de lungimea de undă) la cea a cazului non-gri, mai realist. Anumiţi autori propun să se reducă cazul non-gri la cazul gri prin calculul unui „coeficient de absorbţie mediu": media lui Rosseland (1924) dă un model bun pentru straturile profunde, cele ale lui Chandrasekhar (1948) sau Strömgren (1950) convin mai bine pentru straturile exterioare. La ora actuală însă (1961), cu tot succesul parţial al diferitelor metode de rezolvare a cazului non-gri, se poate considera că această problemă este departe de a fi rezolvată. Progresele provin în prezent din teoria difuziei neutronilor, ale cărei ecuaţii sînt formal identice cu cele ale transferului de radiaţie: totuşi, concluziile acestei teorii pentru problema noastră sînt limitate de diferenţa mare existentă între condiţiile la limită care intervin în aceste două probleme. Este mai bine definită noţiunea de funcţie-sursă a radiaţiei; rolul echilibrului termodinamic local este precizat. Chandrasekhar, Sobolev şi mulţi alţii, aplică la unele cazuri gri complexe metodele puse la punct pentru cazul gri restrîns definit de Milne. Aceste lucrări, deseori de o mare abilitate matematică, deşi nu aduc în esenţă nici o idee nouă, au aplicaţii care depăşesc net cadrul stelelor, folosindu-se mai ales în studiul atmosferelor planetare.

Trebuie să menţionăm, de asemenea, progresele (care au condus, de fiecare dată, la noi aplicaţii ale metodelor şi la noi confruntări cu faptele de observaţie) înregistrate în cunoaşterea opacităţii continue: astfel, un rol esenţial în astrofizică l-a jucat descoperirea de către Wildt, în 1938, a ionului foarte abundent H^-; nu este exclus ca pentru a explica comportarea spectrului stelar ultraviolet descoperit mulţumită experienţelor cu rachete, să fie nevoie să se facă apel la un nou absorbant, a cărui importanţă să ducă la o revoluţie în interpretarea spec-

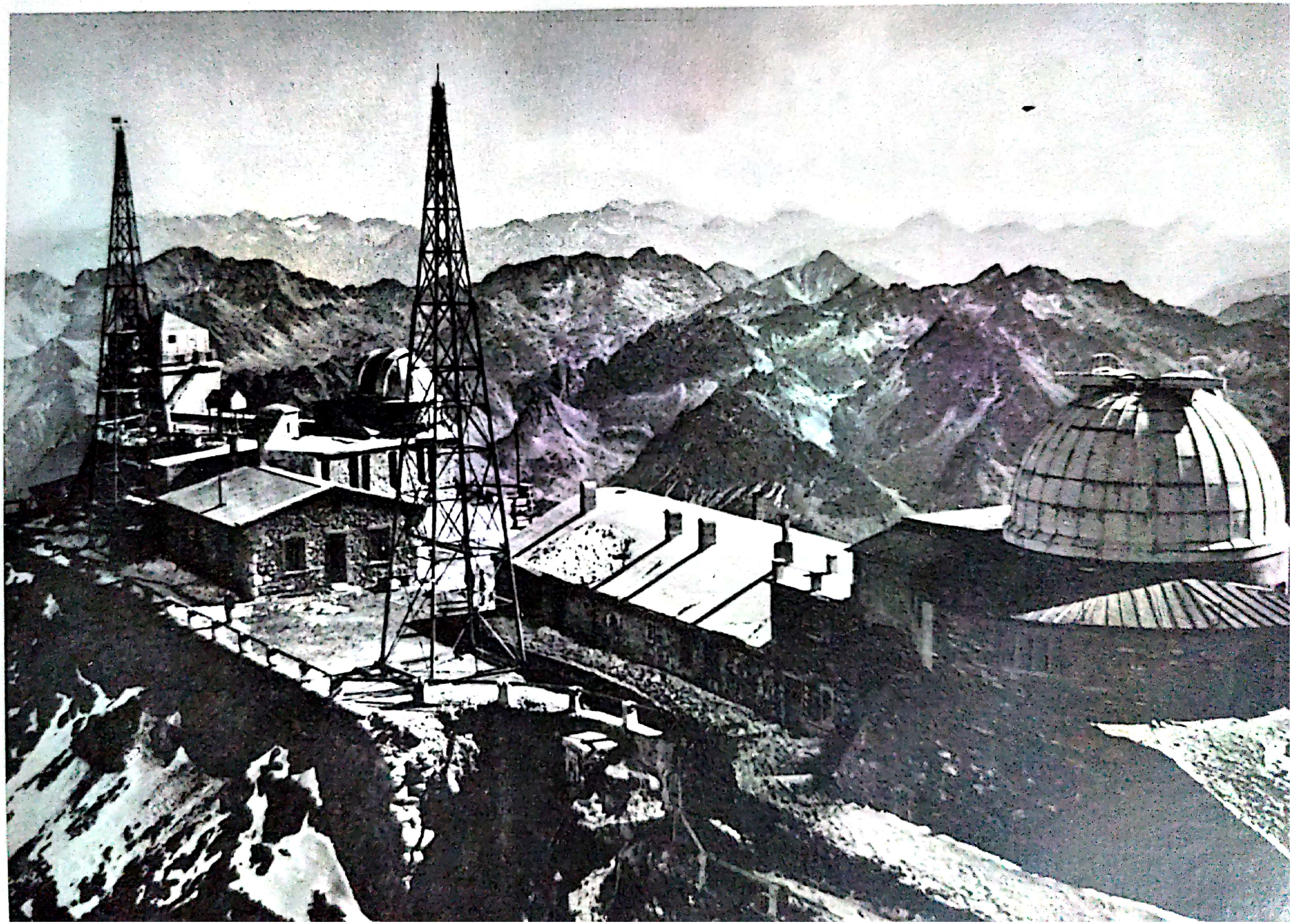
33. MARELE TELESCOP DE LA OBSERVATORUL DIN HAUTE-PROVENCE



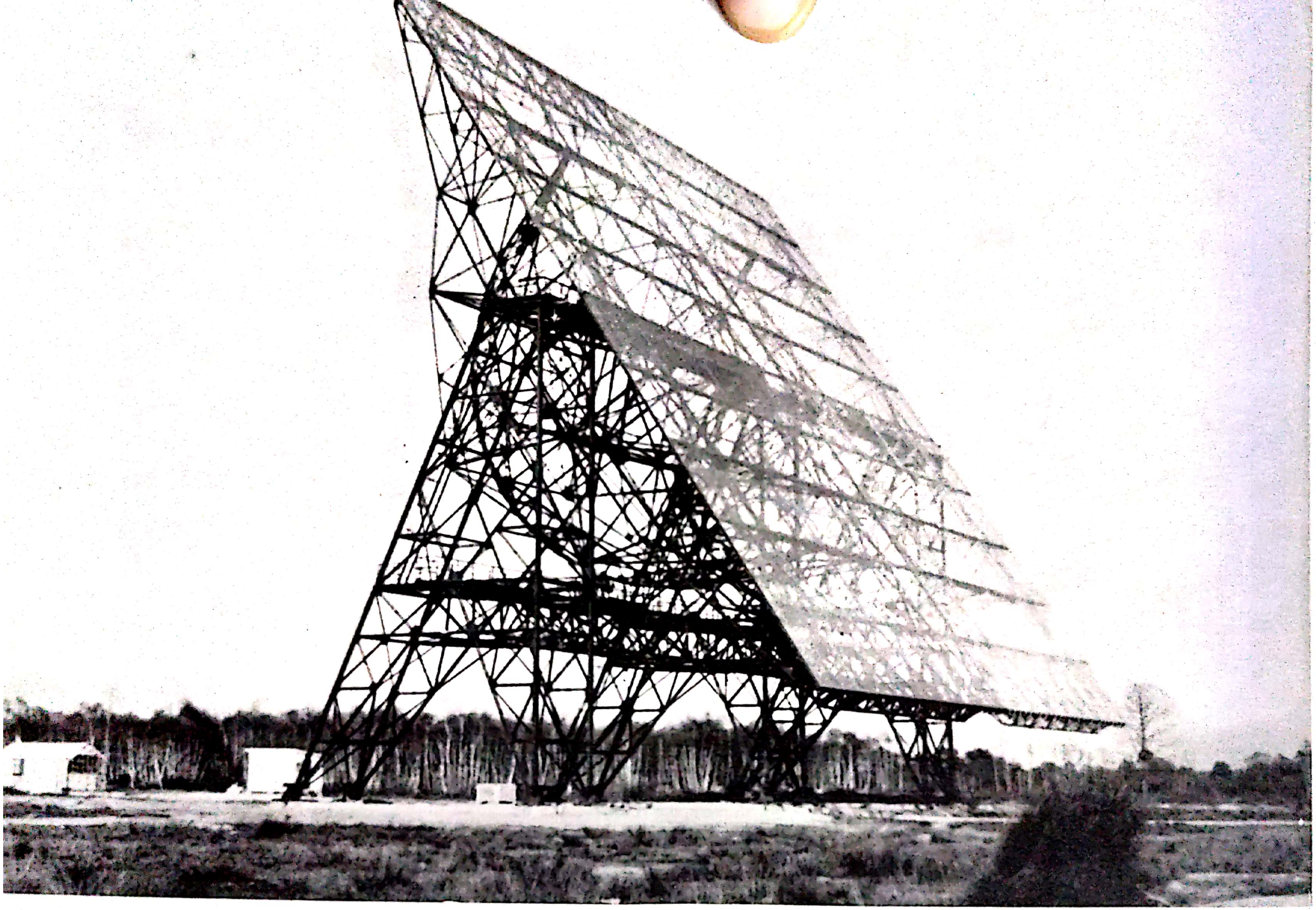


34. TELESCOPUL SCHMIDT DE LA MOUNT-PALOMAR

35. OBSERVATORUL DE LA PIC-DU-MIDI

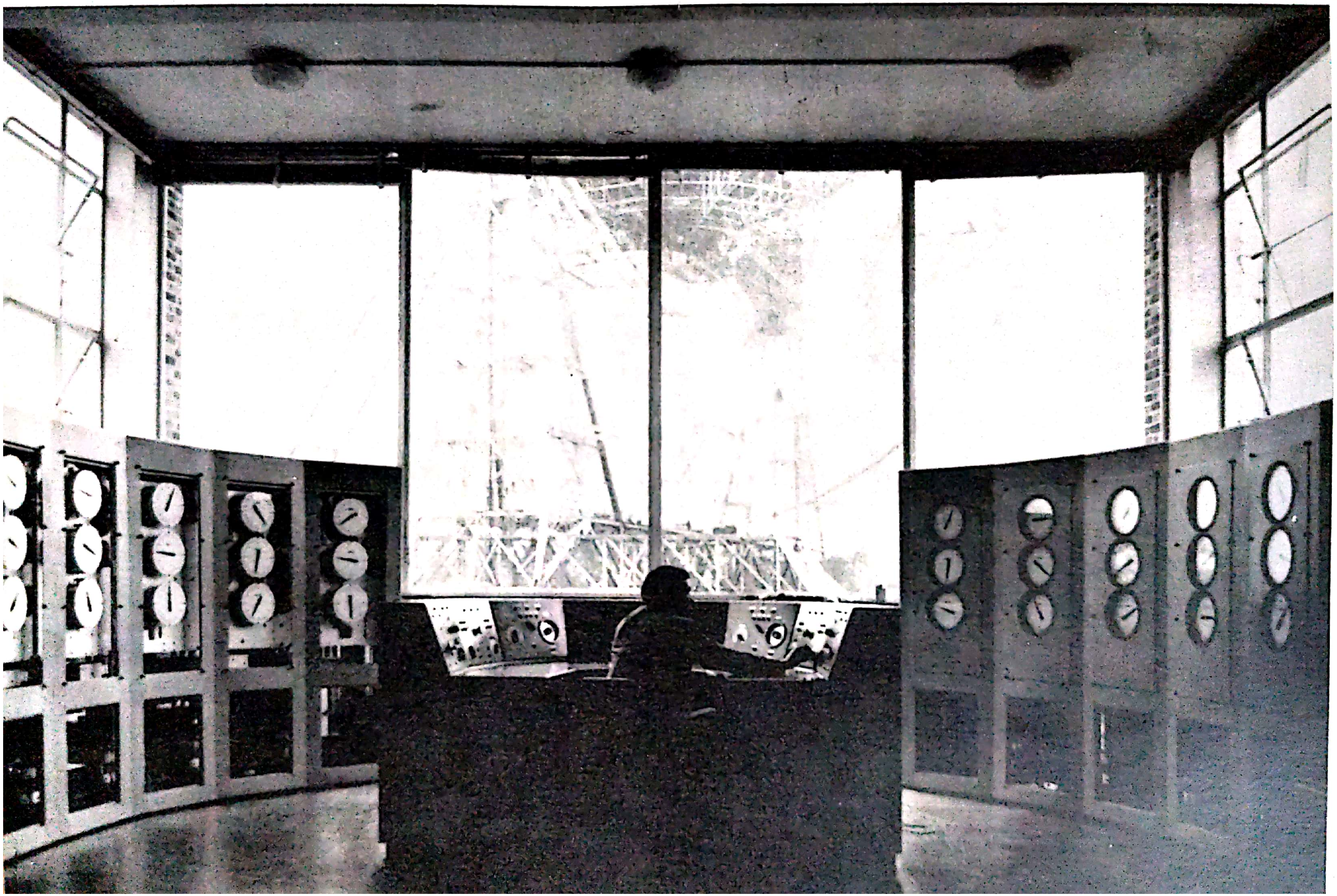


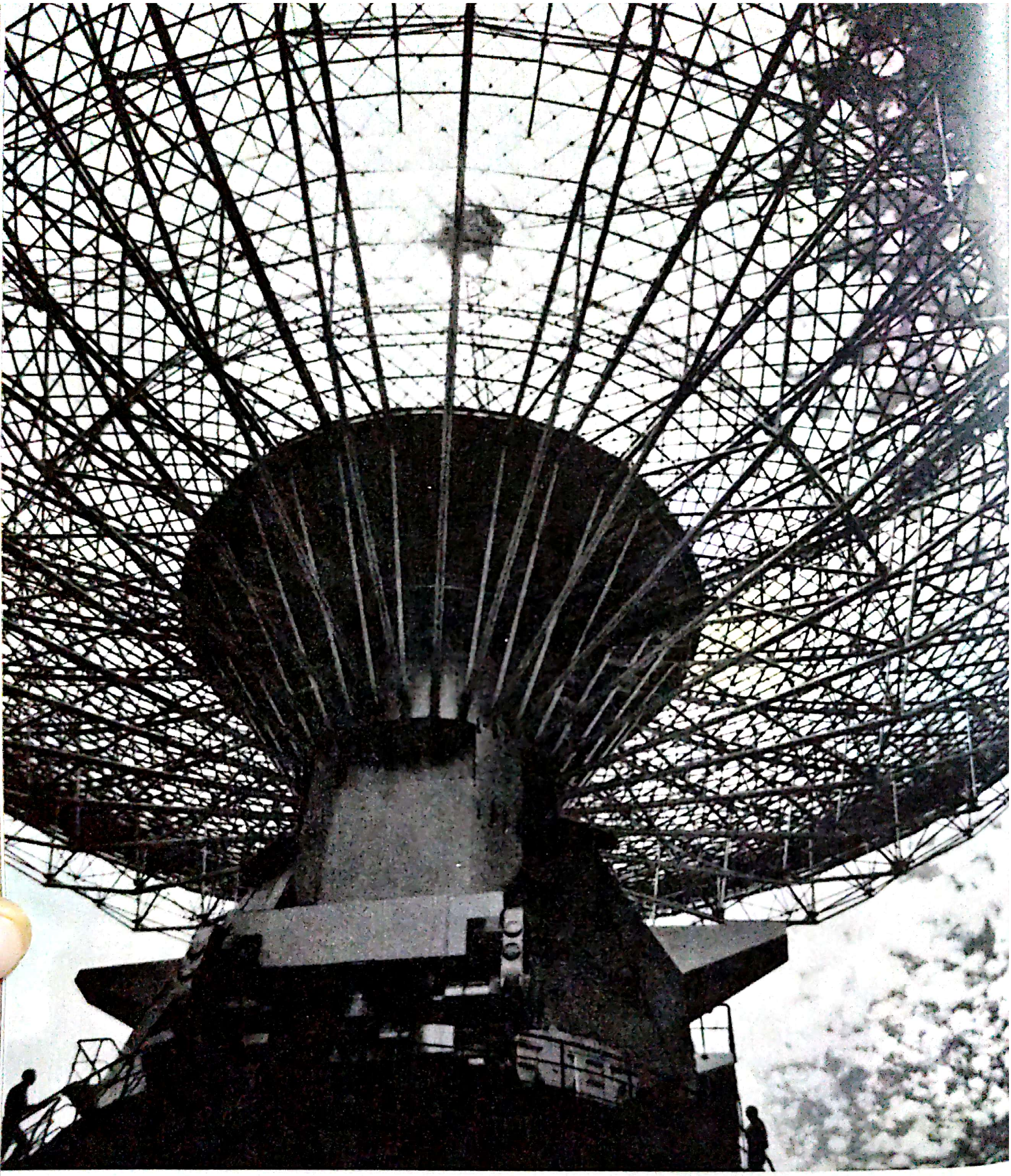
36. FAȚA INVIZIBILĂ A LUNII



38. OGLINDA MOBILĂ A RADIOTELESCOPULUI DE LA NANÇAY

39. RADIOTELESCOPUL DE LA JODRELL BANK





40. RADIOTELESCOPUL DE LA PARKES (AUSTRALIA)

trelor, comparabilă cu cea declanşată nu demult de descoperirea ionului negativ de hidrogen.

FORMAREA SPECTRELOR DE LINII (1920—1950). În timp ce, mulţumită teoriilor echilibrului radiativ şi măsurătorilor asupra spectrului continuu, se schiţa o adevărată *teorie a tipului spectral*, se continuau pe de altă parte cercetările referitoare la interpretarea spectrului de linii.

Descoperirea lui Saha permite legarea de temperatură a aspectelor spectrelor de linii, de la un capăt la celălalt al secvenţei spectrale. Ea a condus la identificarea, astăzi practic completă, a unui mare număr de linii spectrale: linii ale heliului, neutru şi ionizat, în Soare şi în stelele calde, linii ale nebulium-ului, identificate de către Croze şi Bowen ca fiind datorate oxigenului şi azotului în stare ionizată, linii ale coronium-ului, identificate (1942) de către Edlén ca fiind datorate unor metale ionizate de un număr mare de ori. În acelaşi timp, era clarificată problema temperaturii atmosferelor. Scara temperaturilor stelare întocmită pe baza liniilor spectrale (A. Fowler, Milne, 1923—1924) completa teoria tipului spectral provenită din spectrul continuu; Russell şi C. Payne abordau problema determinării abundenţelor (1925), Russell şi Pannekoek (1922) problema densităţii în atmosferele gigantelor. În cursul anilor următori, mecanismul de lărgire a liniilor este încetul cu încetul clarificat. Tratatul lui Unsöld (1938, ed. I) încheie cu succes lista progreselor realizate.

Aceste probleme sînt încă în studiu: problemele fizice puse de interacţia atomilor cu ionii şi electronii (efectul Stark) sînt departe de a fi rezolvate. În 1963, a crescut din nou interesul fizicienilor pentru problemele ciocnirilor atomice care se pun în astrofizică: se poate deci anticipa o perioadă de mare fecunditate pentru teoria astrofizică a spectrelor de linii.

Bineînţeles, simultan, studiul transferului de radiaţie în legătură cu liniile spectrale devenea din ce în ce mai complex: schemele provizorii propuse de Milne-Eddington sau de Schuster-Schwarzschild cedau locul modelelor „stratificate“ în mod realist (Unsöld, 1931; Minnaert, 1932). Folosirea curbelor de creştere (Minnaert, 1923—1931; Russell, 1925—1928) este pînă la urmă complet justificată (Pecker, 1951).

În sfîrşit, sînt analizate numeroase cazuri particulare: stele în rotaţie rapidă, atmosfere extinse etc., obţinîndu-se astfel elementele unei teorii a evoluţiei stelare.

Perioada următoare (schematic vorbind după 1950), asupra căreia vom reveni, se caracterizează, pe de o parte prin folosirea unor metode de calcul puternice, care permit să se pună complet în valoare precizia datelor de observaţie, pe de altă parte, în mod corelat, prin punerea în evidenţă a complexităţii fizice a problemelor: după ce a trebuit să se renunţe la o simplificare abuzivă a problemei matematice a transferului, va trebui să se renunţe şi la o simplificare analoagă a naturii fizice a atmosferelor: echilibrul radiativ, echilibrul hidrostatic, echilibrul termodinamic local nu sînt decît aproximaţii elementare. În plus, stelele nu sînt configuraţii sferice: trebuie să se ţină cont de existenţa eterogeneităţilor, a cîmpurilor locale de viteze, a fenomenelor magnetice şi active.

2. Probleme evolutive

MATERIA INTERSTELARĂ. NEBULOASELE PLANETARE. ATMOSFERELE TRANSPARENTE. Materia interstelară este cunoscută de puţin timp, şi teoria echilibrului ei, limitată la un număr destul de mic de lucrări.

Fiecare realitate experimentală trebuie să dea naştere la o teorie adecvată: teoria polarizării de către norii absorbanţi, curba de creştere pentru liniile de absorbţie, determinarea proprietăţilor difuzante ale particulelor şi a naturii lor (Van de Hulst) etc.

Fără a intenţiona să dăm aici o expunere exhaustivă, trebuie să subliniem importanţa cîtorva cercetări deosebite: Menzel, Aller, Goldberg şi colaboratorii lor, pe de o parte, şi Zanstra, pe de altă parte, au studiat procesele fizice din nebuloasele planetare.

Caracteristica principală a acestor cercetări consta, prin contrast cu studiile relative la atmosferele stelare, în aceea că luau în considerare straturi *transparente* (deci problema transferului era neglijabilă), însă în care radiaţia, provenind de la stea, nu mai este, în consecinţă, în echilibru cu condiţiile *termodinamice* locale (prin urmare, nu există echilibru termodinamic local). Teoria, ţinînd cont de fenomene microscopice ca tranziţiile radiative şi dezexcitările spontane ale atomilor, permite în cazul acesta să se calculeze populaţia nivelelor atomice. Se creează astfel posibilitatea de a se determina temperatura stelelor excitatoare, de a se explica liniile interzise şi compoziţia chimică. Aceste teorii sînt aplicate în mod curent, nu numai la nebuloasele planetare, dar şi la cromosferă şi coroană.

O serie de articole ale lui Spitzer permite să se înţeleagă echilibrul schimburilor energetice şi să se calculeze, în diferite condiţii, temperatura gazului interstelar. Strömgren, pe de altă parte, pune în evidenţă, în jurul unor stele fierbinţi, existenţa unor zone de hidrogen ionizat.

Aceste două grupe de cercetări prezintă un interes fundamental. Într-adevăr, ele arată limitele celor două ipoteze „transparente“: Spitzer arată rolul esenţial al ciocnirilor, Strömgren insistă asupra importantei opacităţi a materiei interstelare faţă de radiaţia UV, opacitate care îşi are rolul ei în formarea spectrului vizibil, chiar dacă regiunile respective sînt transparente la radiaţiile vizibile.

DINAMICA SISTEMELOR STELARE. Într-un domeniu cu totul diferit, cel al studiului mişcărilor în interiorul Galaxiei, activitatea astronomilor nu putea să nu adune, de asemenea, încetul cu încetul elementele unei teorii generale a evoluţiei.

Precizia măsurătorilor furnizate de astronomia de poziţie permite analizarea acestor măsurători, analiză completată recent de cea a datelor de asemenea foarte precise ale radioastronomiei pe 21 cm. Folosirea măsurătorilor mişcărilor proprii şi ale vitezelor radiale conduce la o adevărată cinematică a Galaxiei. Aspectul cel mai semnificativ este pe de o parte studiul rotaţiei diferenţiale a Galaxiei (Oort, 1926), pe de altă parte punerea în evidenţă a structurii ei spirale (1955).

Dar ia amploare observarea în interiorul Galaxiei a familiilor stelare, a roiurilor, globulare sau deschise, şi mai ales a asociaţiilor. Studiul cinematic al acestora permite determinarea vîrstei lor, adesea foarte mică (Ambarţumian, 1952).

Natural, orice problemă cinematică pune o problemă dinamică, cea a explicării mişcărilor observate: studiul, în interiorul Galaxiei, al traiectoriilor, al ciocnirilor (în general neglijabile) (Lindblad); studiul stabilităţii roiurilor (Picart, Bok, Mineur, von Zeipel, Spitzer, Chandrasekhar); studiul formării asociaţiilor în lanţ (Blaauw): toate acestea sînt cercetări care fac să intervină variabila „timp“ şi care pun din nou problema evoluţiei individuale a stelelor care participă la aceste mişcări colective. Astfel, se pune problema dacă datele spectroscopice relative la stelele unei asociaţii sînt oare compatibile cu vîrsta acestei asociaţii?

PROBLEME ALE EVOLUŢIEI STELARE. IPOTEZE COSMOGONICE. Numeroasele idei cu privire la evoluţia stelelor şi la formarea sistemelor planetare au fost expuse, spre sfîrşitul secolului al XIX-lea în numeroase tratate dintre care cel al lui Henri Poincaré, Leçons sur les hypothèses cosmogoniques (Paris, 1913), este unul dintre cele mai remarcabile.

Se cuvine să cităm aici şi ideile lui Sir Norman Lockyer (publicate din 1880 pînă în 1916). Acest autor, prefigurînd ceea ce avea să devină diagrama Herzrung-Russell, stabileşte evoluţia stelară în felul următor:

> Stelele M gigante → (temperaturi în creştere, condensare în creştere: gigante) → Stele O (temperatură maximă) → (temperaturi în descreştere, condensare în creştere, pitice) → → Stele M pitice.

Ideile moderne au multe puncte comune cu teoria evoluţiei într-un sens unic a lui N. Lockyer.

SURSELE DE ENERGIE. Am văzut cum s-au precizat încetul cu încetul ideile cu privire la structura stelelor, plecînd de la cunoaşterea radiaţiei acestora. Mult timp problema cea mai dificilă a fost aceea de a înţelege sursa cantităţilor considerabile de energie observate: Soarele radiază $3{,}98 \cdot 10^{33}$ erg/s, şi aceasta de mai multe miliarde de ani, vîrstă pe care geologii o atribuie Pămîntului.

Fără a mai menţiona aici ipotezele fanteziste elaborate spre sfîrşitul secolului al XIX-lea, H. von Helmholtz (1854) trebuie considerat ca autorul primelor teorii cantitative: el sugerează că sursa energiei stelare este contracţia gravitaţională. Lord Kelvin a calculat scara de timp corespunzătoare (1861 etc.) şi a obţinut valoarea de 2×10^7 ani pentru Soare, vîrstă evident prea mică. Tot Kelvin a arătat că nici căderea de meteoriţi pe Soare, sugerată de Helmholtz, nu este o explicaţie corespunzătoare.

Ideea transmutaţiei nucleare (transformarea a patru atomi de hidrogen într-un atom de heliu, însoţită de pierdere de masă şi producere de energie) trebuia să apară cu necesitate după publicarea lucrărilor lui Einstein în care se enunţa relaţia dintre masă şi energie $E = mc^2$. Ea a fost exprimată cu claritate de către Harkins şi Wilson (1915), J. Perrin (1920), Eddington (1920).

Progresele fizicii au permis apoi dezvoltări mai detaliate: Atkinson şi Houtermans (1929) au folosit teoria radiaţiei α şi capturile de protoni. În 1937, Weizsäcker a elaborat teoria într-o formă apropiată de cea actuală; el consideră că toate elementele chimice îşi au originea în procesele de transmutaţii, stelele fiind compuse la formarea lor din hidrogen pur: este ideea principală a teoriilor „nucleosintezei".

În acelaşi timp se precizau detaliile reacţiilor ce au loc în interiorul stelelor: ciclul carbonului (Gamow, Teller, 1939; Bethe, Critchfield, 1940), ciclul proton-proton (Fowler, 1951), reacţiile heliului (Schatzman, 1951) etc.

Problema originii elementelor uşoare (reacţiile termonucleare) şi a celor grele (capturile de neutroni) în stările prestelare a înregistrat, după primele cercetări ale lui Weizsäcker, progrese mari datorită cercetărilor lui Alpher, Bethe, Gamow, apoi ale lui Fowler şi ale lui G. şi M. Burbidge.

STRUCTURA INTERNĂ ŞI PROCESELE EVOLUTIVE. DIAGRAMA H-R. Procesele de contracţie şi energia termonucleară sînt deci cauzele principale ale evoluţiei. Aplicarea unor teorii corespunzătoare la studiul maselor gazoase a permis să se urmărească evoluţia lor începînd de la stadiul nebular. Studiul unor „monştri" ca novele, cefeidele etc. a permis să se pună în evidenţă fenomenele instabile, în acelaşi timp în care se preciza studiul stadiilor iniţiale.

Bineînţeles, studiul structurii interne stă la baza oricărei teorii a evoluţiei, cu toate că, la început, dezvoltarea ei a fost cu totul independentă de orice consideraţii evolutive. Lucrările citate mai înainte se continuă mai ales în opera lui Eddington (modelul standard, 1916 şi anii următori). Eddington dezvoltă şi extinde teoremele integrale ale lui Richter; în continuare, studiul lor este aprofundat de Milne (din 1929 pînă în 1936), apoi de Chandrasekhar (1936, 1937). Eddington studiază *relaţia masă-luminozitate*: după ce o confirmă empiric, el o justifică teoretic. Este cunoscut rolul considerabil jucat de această relaţie în cercetările privind stelele duble, în descoperirea piticelor albe etc. Continuatorii lui Eddington (Cowling, von Neumann, Chandrasekhar, Rosseland, Strömgren, Morse, Keller) dezvoltă acest domeniu, îmbunătăţind modul în care se poate ţine cont de opacitatea materiei stelare, de zonele convective profunde etc.

Unul dintre punctele cele mai importante ale acestei dezvoltări progresive este teorema Vogt-Russell (1926—27): masa şi compoziţia chimică sînt suficiente pentru a determina structura unei stele, în condiţii destul de generale. Prin urmare, secvenţele descoperite în diagrama Hertzsprung-Russell (vezi p.545) au o semnificaţie evolutivă; în cursul acestei evoluţii masa stelei se schimbă — pierde energie prin radiaţie, pierde de asemenea materie prin ejecţii regulate sau neregulate. Interpretarea evolutivă a diagramei H-R, în special în cazul stelelor din roiuri, a permis să se precizeze etapele succesive şi parametrii evoluţiei şi să se atribuie fiecărei porţiuni a diagramei H-R anumite structuri stelare particulare.

Amintim cercetările lui Strömgren (1932—1938), Kuiper (1936), Chandrasekhar, şi mai recent cele ale lui M. Schwarzschild şi ale elevilor săi, ca şi cele ale lui Biermann şi ale elevilor săi, ale lui Parenago şi Massevici, ale lui Hoyle şi ale colaboratorilor săi, toate efectuate în cursul anilor 1945 —1960. De o importanţă cu totul deosebită este ideea propusă de Öpik, dezvoltată apoi de M. Schwarzschild şi elevii săi, cu privire la stelele ale căror nuclee, avînd hidrogenul consumat, au o compoziţie chimică diferită de cea a celorlalte părţi. Acest accident, care se produce în urma evoluţiei, se traduce prin faptul că aceste stele părăsesc secvenţa principală; diferitele etape ale acestei evoluţii sînt exprimate în diagrama H-R a roiurilor globulare.

Un rol deosebit revine cercetărilor asupra fenomenelor instabile, mai ales asupra originii exploziilor stelare (nove, supernove) şi asupra originii pulsaţiilor; amintim aici numele lui Gamow şi îndeosebi cel al lui Rosseland, din cercetările căruia s-au dezvoltat cele, mai moderne, ale lui Schwarzschild, Schatzman, Jevakin, Ledoux, Whitney. Încetul cu încetul s-a conturat astfel teoria instabilităţilor unei stele care execută oscilaţiile forţate radiale sau neradiale; caracteristica esenţială a unei astfel de teorii este aceea că ea trebuie să devină neliniară pentru a permite explicarea pulsaţiilor cefeidelor.

STELE TINERE. REZIDUURI STELARE. Fără a considera aceste cercetări ca fiind „teoretice“, trebuie totuşi să menţionăm aici elanul dat de observarea unor obiecte cosmice tinere, care a contribuit mult la dezvoltarea ideilor: este vorba de cercetări asupra importanţei asociaţiilor stelare tinere (Ambarţumian, Kolopov), asupra obiectelor cosmice în contracţie a căror energie nu este încă furnizată de reacţiile termonucleare (roiuri Walker, obiecte Herbig-Haro).

Cît priveşte cealaltă extremitate a evoluţiei, numeroşi cercetători au atras atenţia asupra *reziduurilor* exploziilor stelare de supernovă: nebuloasele Markarian, studiul nebuloasei Crab, o radiosursă intensă.

Punctul terminus al evoluţiei stelare este stadiul de pitică albă[15]. Descoperirea acestui tip de stele datează din a doua jumătate a secolului al XIX-lea. Valoarea extrem de slabă a luminozităţii lor şi faptul că ea nu satisface relaţia masă-luminozitate, au fost puse în evidenţă de Eddington. R.H. Fowler (1926) a făcut o descoperire fundamentală arătînd că aceste pitice sînt formate dintr-un gaz „degenerat“ de electroni în sensul teoriei Fermi-Dirac. E.C. Stoner, Milne, W.Anderson şi Chandrasekhar au dezvoltat ideile lui Fowler, aplicînd la acest caz teoria politropilor, ţinînd cont de degenerscenţa relativistă.

Schatzman (1946) a sugerat că, stratificarea elementelor împiedicînd amestecul lor, reacţiile nucleare nu pot avea loc, exceptînd poate un strat subţire al amestecului. Astăzi însă se admite că originea radiaţiei piticelor albe trebuie căutată numai în procesul de răcire progresivă a unei stele fără sursă internă de energie.

IPOTEZE COSMOGONICE: ORIGINEA PLANETELOR. În acest domeniu s-au dezvoltat două grupe de teorii: teoriile catastrofice, dintre care cea mai tipică, cea a lui Jeans, presupune fragmentarea filamentelor de materie smulse din Soare de forţele mareice, şi teoriile nebulare, care presupun evoluţia sistemului planetar pornind de la o nebuloasă primitivă, o dezvoltare modernă a ideilor lui Laplace sau Kant.

---

[15] Între timp a fost descoperită existenţa stelelor neutronice, avînd o densitate de ordinul 10^{14}—10^{15} g/cm^3; aceste stele apar în urma exploziilor de supernovă. — *I.G.*

Russell (1935), arătînd că ipotezele catastrofice nu satisfac legile de conservare, apoi Spitzer (1938), demonstrînd că din punct de vedere fizic sînt lipsite de realism, au deschis calea dezvoltării moderne a teoriilor nebulare: principalele ei etape sînt studiul fizico-chimic al procesului de condensare (Ter Haar, 1948; Urey, 1952) şi teoria mecanică a aglomerării în interiorul discului nebular (Weizsäcker, Kuiper, Schmidt, după 1944).

Cosmologia (descrierea Universului în ansamblul său) s-a dezvoltat bineînţeles foarte mult din momentul apariţiei relativităţii[16].

3. Tendinţe ale noii astrofizici

RELAŢII SOARE-PĂMÎNT; FENOMENE NETERMICE. După cincizeci de ani de cercetări solare atenţia a fost atrasă de existenţa unor cîmpuri magnetice locale puternice. Descoperirea stelelor magnetice, de către H.D. şi H.W. Babcock, avea să pună din nou problema înţelegerii acestor fenomene.

Nu există nici o îndoială că aceste fenomene sînt legate de rotaţia stelelor şi de ejecţia de materie. Dar timp de mai mulţi ani, astrofizicienii s-au mărginit la descrieri fenomenologice, la cercetări statistice, la calcule de corelaţie etc.

Primul efort important de sinteză apare în opera lui Alfvén *Magnetohydrodynamics* (1948), rezultatul unor lucrări a căror publicare a început din 1942. Această nouă ştiinţă, adaptată mai ales la fenomenele astrofizice, s-a ocupat mai întîi de teoria relaţiilor dintre Soare şi Pămînt, de efectele corpusculare şi de teoria activităţii solare şi a fenomenelor active.

Astăzi cercetările asupra fenomenelor care au loc în plasmă (v. pp. 310—322) au invadat toate domeniile astrofizicii.

Studiul izbucnirilor radiaţiei radioelectrice a Soarelui (Denisse) şi cel al radiosurselor netermice (Nebuloasa Crab: Van de Hulst, Oort) pun în evidenţă radiaţia de sincrotron datorată electronilor relativişti aflaţi în mişcare într-un cîmp magnetic. Dealtfel unele dintre aceste fenomene par să se datoreze mai mult radiaţiei Cerenkov decît radiaţiei sincrotron. Cercetările teoretice ale lui Şklovski asupra coroanei solare, ale lui Van Allen asupra mediului din vecinătatea Pămîntului, teoria aurorelor şi a geomagnetismului datorată lui Chapman, teoria protuberanţelor a lui Lüst şi Schlüter, teoria lui Parker asupra vîntului solar, sînt numai cîteva exemple, pe care le cităm din miile de cercetări.

TEORIA ATMOSFERELOR. „NOUA ASTROFIZICĂ". Un articol al lui Strömgren, din 1940, propunea, pentru analiza spectrelor stelare, şi îndeosebi pentru cazul Soarelui, construirea unor reţele de modele şi de curbe de creştere teoretice. Aplicarea unei astfel de metode nu era posibilă atunci. Astăzi însă datorită folosirii mijloacelor de calcul electronic ea este practicabilă. Un prim rezultat este obţinerea abundenţelor (Aller, E. Müller, Goldberg, 1960).

Dar această precizie crescută a calculelor, împreună cu cea a măsurătorilor, necesită totodată o teorie fizică mai avansată. Ipotezele tradiţionale ale teoriei atmosferelor stelare trebuia deci să fie respinse, căci ele nu corespundeau decît unor aproximaţii simple:

---

[16] Vezi studiul lui P. Couderc, pp. 597–600.

a) *Fenomene convective.* Teoria lui Schwarzschild, reluată şi completată de numeroşi autori după Unsöld, dă un criteriu de stabilitate la convecţie. Studiul zonelor convective este foarte sensibil la abundenţa heliului (Ch.W. Pecker); stelele bogate în heliu sînt fără îndoială mai instabile la vibraţii şi pot deveni stele pulsante (Cox, Kippenhahn, Jevakin, 1961).

Din zona convectivă provin undele sonore care provoacă „încălzirea" cromosferei şi a coroanei, fenomene a căror analiză teoretică şi studiu experimental se află abia la început.

b) *Intervenţia neomogenităţilor.* Însăşi existenţa fenomenelor convective, a granulaţiei care este unul dintre aspecte, conduce la admiterea unei anumite neomogenităţi. Numeroşi autori, ca K.H. Böhm, au propus modele neomogene de atmosferă solară. Este evident că de aici decurg numeroase consecinţe.

c) *Abateri de la echilibrul termodinamic local (E.T.L.).* Mai importantă este fără îndoială existenţa în cromosfere şi fotosfere, ca şi în coroane, a unor importante abateri de la E.T.L. Studiul profilurilor (Pecker şi elevii săi, 1957) permite punerea lor în evidenţă în spectrul Fraunhofer: rezultă, fără îndoială, consecinţe importante, poate mai ales în ceea ce priveşte determinarea abundenţelor. Aceste rezultate vin în întîmpinarea rezultatelor analizei teoretice a lui Thomas şi a elevilor săi (după 1950) care, rezolvînd *simultan* ecuaţiile de transfer şi ecuaţiile de echilibru statistic pentru nivelele atomice, obţine coeficienţii abaterii de la E.T.L. Noua teorie se află între cele două aproximaţii extreme, pe care le evită: aproximaţia numită „nebulară", deoarece nebuloasa este transparentă pentru toate radiaţiile, şi aproximaţia numită „stelară", căci radiaţia şi materia sînt în echilibru în orice punct. Ceea ce Thomas numeşte „noua spectroscopie" rezultă din „cuplarea" diferitelor procese fizice.

d) *Fenomene electromagnetice şi netermice.* Generalizînd expresia lui Thomas am putea spune că „noua astrofizică" este cea care rezultă din faptul că procesele fizice nu mai pot fi izolate unele de altele. Astfel magnetohidrodinamica este studiul legăturilor reciproce dintre cîmpul magnetic şi mişcările materiei; teoria plasmei — studiul legăturilor reciproce dintre undele care traversează un mediu ionizat, şi acest mediu; teoria atmosferelor — studiul radiaţiei şi al condiţiilor locale care se influenţează reciproc.

◆

Fără îndoială, aceasta este calea de afirmare a astrofizicii teoretice a viitorului: căutînd conexiuni neprevăzute, cuplaje, reacţii reciproce, ea se anunţă ca o ştiinţă din ce în ce mai complexă. De asemenea nu există nici o îndoială că ea joacă din ce în ce mai mult rolul de ghid al fizicienilor într-un laborator spaţial fără precedent: astfel s-au petrecut lucrurile în domeniul reacţiilor termonucleare, tot astfel se prezintă ele în domeniul atît de viu al plasmei. Oricum, este sigur că astrofizica teoretică nu poate fi considerată ca o ramură independentă a ştiinţei: ea este solidară cu întreaga fizică.

M. SATELIŢII ARTIFICIALI

Rar s-a întîmplat, în istoria ştiinţelor, ca o tehnică de cercetare să apară atît de brusc, să cunoască o dezvoltare atît de rapidă şi să dea atît de curînd rezultate, ca satelitul artificial. Literatura de anticipaţie, care adeseori reflectă tendinţele curiozităţii ştiinţifice şi care a putut deveni profetică atunci cînd a fost slujită de condeie autorizate, nu s-a manifestat în acest domeniu. Chiar cu douăzeci de ani în urmă, atunci cînd inginerii aveau de acum cuvîntul în proiectele astronautice, francezul Esnault-Pelterie (1881—1957) trata temeinic problemele tehnice legate de acest subiect, fără a lua vreodată în considerare satelitul. De fapt, din momentul în care s-a studiat mijlocul de a părăsi Pămîntul, s-au imaginat totdeauna vehicule avînd oameni la bord, şi trimise spre un obiectiv determinat. Călătoria circumterestră nu a reţinut atenţia; nici nu se putea concepe zborul unui aparat fără oameni la bord.

Această lipsă de clarviziune are justificările sale. Pînă prin 1950, nu se putea concepe nici posibilitatea creării acestui satelit, nici mai ales interesul pe care îl putea prezenta această problemă. Lucrurile aveau să se schimbe, şi tocmai din aceste două puncte de vedere, în urma progreselor înregistrate sub presiunea necesităţilor militare între anii 1939—1945, mai ales în domeniul rachetelor şi în electronică.

Într-adevăr, dacă principiul propulsiei prin reacţie şi vehiculul-tip, racheta, sînt foarte vechi, şi dacă de mult timp s-a recunoscut că acesta era un mijloc (poate singurul) de deplasare în vid, a fost nevoie de puterea rachetelor V_1 şi V_2 pentru a putea fi concepute Jupiter C, Thor şi Vanguard; electronica a furnizat mijloacele de ghidare, de control şi de comandă la distanţă necesare lansării, ca şi „vocea" satelitului şi artificiile necesare concentrării unui maximum de informaţii.

În consecinţă, în 1950 satelitul părea în sfîrşit o realizare la îndemîna omului; or, tocmai atunci se începea pregătirea Anului Geofizic Internaţional.

1. Începuturile astronauticii

SATELIŢII ŞI A.G.I. Urmînd „Anilor polari" din 1883 şi din 1933, această acţiune urma să mobilizeze lumea ştiinţifică în vederea unui studiu comun timp de 18 luni, începînd de la 1 iulie 1957, al unui program consacrat Pămîntului şi împrejurimilor sale. Studiul atmosferei înalte, în particular, avea să facă apel în mare măsură la rachete, folosite de acum în mod curent în mai multe ţări. Dar în 1954 Uniunea Ştiinţifică Internaţională Radio reunită la La Haye, apoi Uniunea Internaţională de Geodezie şi Geofizică la Roma, exprimau dorinţa de a vedea lansîndu-se sateliţi de cercetare în timpul A.G.I. La 4 octombrie 1954, Comitetul special al A.G.I., reluînd această sugestie, înscrie în programul său o nouă disciplină sub titlul dublu „Rachete şi Sateliţi". În 1955, Statele Unite au anunţat că făceau pregătiri în vederea întreprinderii experienţei în cursul perioadei prevăzute; la fel U.R.S.S., în 1956.

PRIMII SATELIŢI. Proiectele americane făcuseră deja obiectul unei difuzări destul de largi, chiar în public; şi totuşi U.R.S.S.-ului îi va reveni onoarea de a deschide tirul, şi chiar de a marca cel de-al doilea punct o lună mai tîrziu.

Într-adevăr, la 4 octombrie 1957, a fost lansat pe o orbită circumterestră primul Sputnik. El cîntărea 83 kg.

Sputnik I a efectuat măsurători asupra presiunilor şi temperaturilor; emiţătorul său a tăcut după trei săptămîni de la lansare. Ultima treaptă a rachetei, care gravita în mod independent, a fost un excelent obiect pentru observaţie. Ea a căzut la 1 decembrie, iar satelitul i-a urmat la 4 ianuarie 1958. Orbita lor, comună la plecare, avea perigeul la 225 km, iar apogeul la 950 km altitudine.

La 3 noiembrie a fost lansat Sputnik II care cîntărea 508 kg şi avea o cabină specială în care se găsea un cîine de experienţă; apogeul său atinge 1780 km. Emiţătorul a funcţionat o săptămînă; obiectul a fost de asemenea perfect vizibil, racheta rămînînd solidară cu satelitul. A căzut la 14 aprilie 1958.

La 15 mai 1958, Sputnik III, adevărat satelit-orchestră, începea o carieră sensibil mai lungă şi mai fecundă. La o greutate totală de 1 325 kg, el conţinea 950 kg de instrumente şi conducea o duzină de experienţe. Emiţătorul său avea să funcţioneze practic pînă la căderea sa la 6 aprilie 1960.

ÎNCEPUTURILE AMERICANE. Programul american a înregistrat mai întîi un eşec. Proiectul său Vanguard, încredinţat marinei, se defăşura conform planurilor în momentul lansării primilor Sputnici. Operaţiunile au fost apoi grăbite, sărindu-se peste anumite etape (cum ar fi lansările reale ale vehiculului întreg), ceea ce a condus la o serie penibilă de operaţii întrerupte sau amînate în ultimul moment şi în cele din urmă la înregistrarea unui eşec total la 6 decembrie 1957.

S-a luat atunci hotărîrea de a se încuraja proiectul la care lucra în paralel o echipă a Armatei Terestre sub conducerea lui Werner von Braun, şi care pregătea un satelit de 15 kg purtat de o rachetă cu patru trepte Jupiter C, numit Explorer. Încercarea a avut loc în noaptea de 31 ianuarie spre 1 februarie 1958, şi a reuşit perfect. Perigeul lui Explorer 1 era la 370 km, iar apogeul la 2 500 km; el se află încă pe orbită.

După un nou eşec (la 5 februarie), la 17 martie este lansat primul Vanguard, urmat de un al doilea Explorer, la 25 martie. Orbita lui Vanguard 1 este remarcabilă: perigeul la 650 km altitudine, apogeul la 4 000 km; în aceste condiţii obiectul este practic etern. În pus, el emite în continuare.

În 1958 au mai avut loc două lansări; al treilea Explorer, apoi o rachetă Atlas întreagă (mai mult de 4 tone). Anul 1959 a fost martorul lansării a încă doi Vanguard pe orbite analoage primului, a doi Explorer şi a primilor şase sateliţi din seria Discoverer, despre care vom mai vorbi. În acest timp, U.R.S.S., în afară de Sputnik III, lansează trei rachete numite Lunik, în direcţia Lunii. Prima (2 ianuarie 1959) a trecut la o anumită distanţă de Lună înscriindu-se apoi pe o orbită de planetoid; cea de-a doua (12 septembrie 1959) a atins solul lunar după 34 de ore de la lansare, iar cea de-a treia (4 octombrie 1959) a înconjurat Luna luînd celebrele fotografii ale feţei invizibile.

Anii 1960 şi următorii aveau să fie martorii unor noi experienţe, ajungîndu-se la rezultatul poate cel mai mult aşteptat de marele public: zborul omului în satelit. În loc de a ne opri în detaliu asupra tuturor acestor sateliţi, vom încerca să distingem etapele şi înlănţuirile care constituie ceea ce s-ar putea numi istorie.

2. Evoluţia satelitului

CONTROLUL ORBITEI. La început, esenţialul era reuşita lansării; perigeul depăşea cu puţin limita de securitate vitală pentru satelit (în jur de 180 km), apogeul rămînea modest: de la 1000 la 2000 km; între aceste distanţe s-au aflat orbitele primilor trei sputnici. Dar curînd, mai ales odată cu sateliţii americani care în general erau mai uşori, s-au obţinut orbite mai avantajoase. Am semnalat deja sateliţii Vanguard (perigeul peste 500 km, apogeul pînă la 4000); în 1960, a fost plasat pe o orbită cvasicirculară la 1650 km satelitul Echo 1, în timp ce sateliţii Tiros au orbite circulare la aproximativ 700 km; în 1961 a fost lansat un Midas 3 care circulă între 3350 şi 3540 km, cu toate că cîntăreşte aproape 1600 kg, satelit urmat de alţi trei de acelaşi tip în 1962.

Pe de altă parte, s-a reuşit realizarea unor orbite foarte excentrice destinate explorării zonelor îndepărtate, satelitul ajungînd la apogeuri de 40 000 km (Explorer 6, lansat la 7 august 1960), de 200 000 km (Explorer 10, lansat la 25 martie 1961) şi de 80 000 km (Explorer 12, lansat la 16 august 1961). Lunik 3, care avea de fapt o orbită de satelit, deşi modificată sensibil în apropierea Lunii, s-a îndepărtat de Pămînt la mai mult de 400 000 km. Dar aceste orbite foarte alungite sînt totdeauna foarte mult perturbate de atracţia luni-solară, iar sateliţii respectivi sînt efemeri. În orice caz, ei nu mai pot fi controlaţi deloc după două sau trei reîntoarceri la perigeu.

Enormele nave cosmice sovietice (4,5 şi 6,5 tone), şapte în total, au fost plasate pe orbite joase, dar care corespundeau în mod remarcabil cerinţelor. Destinate mai întîi explorării zonei apogeului viitorului satelit locuit, primele două nave au descris deci orbite circulare la distanţa de 300 km. Pentru a studia mai departe operaţia „de coborîre“ plecînd de la perigeu, ultimele două nave au avut aceeaşi orbită ca şi viitorul vehicul spaţial cu om la bord, între 180 şi 250 km.

O altă problemă, esenţială în astronautică, este aceea a modificărilor traseului. Primele încercări în acest sens s-au desfăşurat în cadrul operaţiei Discoverer, pentru că ea comportă o lungă coborîre pe o distanţă de 3000 km a unei capsule separate de satelit şi desprinsă de pe orbita sa sub unghiul dorit. Au urmat apoi sputnicii grei, ajungîndu-se la cele două vehicule spaţiale cu oameni la bord care, în parte cel puţin, au aterizat (sau au fost readuse foarte jos în condiţiile de securitate compatibile cu un salt cu paraşuta) conform unui program în întregime automatizat, în care pasagerul avea posibilitatea de a interveni în caz de necesitate. O experienţă mai apropiată de viitoarele realizări a fost cea a lui Discoverer 21 (18 februarie 1961) care a primit un impuls suplimentar de la niște rachete de bord puse în funcțiune în cursul celei de-a patra revoluții la un ordin trimis de la sol. Satelitul a trecut astfel de pe o orbită de 93,8 pe una mai mare de 97,8 minute.

În sfîrșit, o operațiune deosebită în domeniul balisticii a fost realizată de cel de-al cincilea sputnik greu de pe care s-a desprins și s-a îndreptat spre planeta Venus o sondă spațială, în timp ce sputnikul se afla pe orbită (12 februarie 1961); acest mod de lansare care deschide căi noi presupune perfecta stăpînire a unei tehnici extrem de delicate.

COMUNICAREA CU SOLUL. Am menționat pe scurt rolul esențial al telemăsurii; este vorba de a traduce din semnalele trimise de aparat indicațiile instrumentelor de măsură.

Această tehnică a putut fi pusă la punct în laboratoare; dar emisiunile sateliților pun probleme deosebite. Greutatea sursei de energie este limitată; pe de altă parte, sateliții circulă deasupra ionosferei, care poate perturba propagarea. De fapt, comunicațiile cu sateliții au fost obiectul unor mari perfecționări. Este vorba mai întîi, odată cu primul Vanguard, de întreținerea bateriilor cu ajutorul energiei solare; Sputnik III a beneficiat de aceeași tehnică, apoi majoritatea celorlalți sateliți de cercetare. În curînd au apărut aripioare care se desfășoară după lansare, și care susțin mii de elemente fotosensibile.

Creșterea numărului sateliților a pus curînd problema suprasolicitării frecvențelor uzuale; motiv pentru care durata emisiei a fost limitată la o lună, trei luni (cazul Tiros), maximum un an. O altă soluție, foarte utilă mai ales în cazul sondelor spațiale, deoarece economisește energia, constă în a provoca emisia, de fiecare dată pentru puțin timp, printr-un ordin trimis de la sol. Acest procedeu a fost combinat cu înregistrarea pe bandă magnetică a tuturor informațiilor, inclusiv a imaginilor camerelor ca în cazul sateliților Tiros, ceea ce permite să se strîngă toate rezultatele cu ajutorul a una sau două stații specializate în această operațiune, și nu ca înainte un sistem de stații care acoperă toată orbita.

Aceste legături au fost realizate pentru distanțe din ce în ce mai mari: 400 000 km cu Lunik, 700 000 km cu Pionnier 4, 36 de milioane de kilometri cu Pionnier 5, 100 de milioane de kilometri cu Mariner II și cu Marte I (1962—1963).

RECUPERAREA CAPSULELOR SAU A SATELIȚILOR. Desigur, este foarte important să se poată recepționa semnalele transmise de un satelit. Dar anumite studii, în special cele care se referă la condițiile călătoriei omului (mai ales cînd în satelit se găsesc ființe vii sau eșantioane), presupun aproape cu necesitate readucerea la sol cel puțin a unei părți din satelit, a instrumentelor, înregistrărilor și ființelor vii.

Acesta a fost înainte de toate principalul scop al seriei Discoverer. Capsula (170 kg) este separată în timpul zborului la ordin, readusă spre Pămînt și interceptată, teoretic, după deschiderea unei parașute spre sfîrșitul zborului, în plasele pe care le remorchează avioanele. Operațiunea are loc în zona Hawai și, în cel mai rău caz, mai rămîne o șansă dacă capsula cade în mare și este reperată destul de rapid. Pînă la urmă acest mecanism destul de acrobatic a ajuns să reuşească; începînd din august 1960, americanii au recuperat în felul acesta mai multe capsule.

Ceva mai tîrziu, cînd U.R.S.S. a început seria navelor cosmice grele, s-a urmărit acelaşi lucru. De la prima s-a încercat separarea, dar părţile au fost trimise pe o orbită mai mare. Totuşi în curînd cabinele etanşe au fost readuse intacte cu animale de experienţă în interiorul lor şi, în sfîrşit, un prim pasager a putut fi readus după o revoluţie (12 aprilie 1961), apoi un al doilea după 24 de ore (7 august 1961). Statele Unite au lansat capsule Mercury locuite, pentru 3 revoluţii (20 februarie şi 24 mai 1962); apoi pentru 7 (3 octombrie) şi pentru 17 (14—15 mai 1963). Două rachete Vostok locuite au fost lansate din U.R.S.S. pe data de 11 şi 12 august 1962, la interval de 24 ore, s-au apropiat la mai puţin de 10 km pe orbitele respective şi au fost readuse la sol la interval de cîteva minute pe data de 15 august. Alte două nave au fost lansate la 14, respectiv 16 iunie şi au circulat pînă la 19 iunie 1963.

SATELIŢI SPECIALIZAŢI. Se pare că de acum înainte progresul se realizează în acelaşi timp în două direcţii: cea a călătoriilor omului, încă destul de timide (satelit jos, mai tîrziu vecinătatea Lunii), şi cea a studiului permanent al mediului nostru înconjurător cu ajutorul sateliţilor specializaţi. Cercetarea teoretică nu mai reprezintă un scop în sine; au apărut deja aplicaţiile practice. Să amintim cîteva dintre problemele deosebite care au fost încredinţate sateliţilor, mai ales după 1960.

A apărut foarte curînd ideea de a se cere sateliţilor imagini ale sistemelor de nori, pentru că de la altitudinea la care se găsesc, ei pot furniza date asupra marilor formaţiuni de nori şi evoluţiei acestora. După o încercare rudimentară cu Vanguard 2, s-au lansat adevăraţii sateliţi meteorologici: Tiros (Television and Infra-Red Orbiting Satellite). Prevăzuţi cu două camere cu focar diferit, ei transmit la ordin imaginile înregistrate pe bandă magnetică. Fiecare a primit misiunea să emită timp de trei luni; cu toate că cei şapte sateliţi meteorologici lansaţi mai circulă şi azi pe orbitele lor, numai ultimul dintre ei mai este activ. Tiros I, lansat la 1 aprilie 1960, trimisese pînă la sfîrşitul lunii iunie 22 952 de fotografii; rezultatele sînt remarcabile, chiar dacă se consideră numai cele mai bune dintre aceste fotografii. Sateliţii Tiros au fost direct utili şi au salvat, probabil multe vieţi, semnalînd ciclonii încă de la formarea lor la mari distanţe de teritoriile locuite, unde s-au putut lua în acest mod măsurile de securitate respective.

A apărut apoi ideea construirii sateliţilor releu pentru telecomunicaţii, sub două aspecte: simpla oglindă pentru unde (cum este marele balon Echo, cu diametrul de 30 m, care va fi urmat de altele la altitudini mai mari, la aproximativ 3000 km în loc de 1600), şi aparatul care primeşte, înregistrează şi retransmite într-un punct oarecare al orbitei sale la cerere: este extraordinarul Courier 1 (patru octombrie 1960). Acest satelit transportă 5 înregistratoare cu bandă magnetică (patru pentru telegrafie automată, unul pentru telefonie) care funcţionează cu ajutorul a 1300 de tranzistori şi sînt întreţinute de 20 000 elemente fotosensibile, care reîncarcă baterii minuscule nichel-cadmiu. Cele trei funcții (primire, înregistrare, emitere) pot fi îndeplinite simultan, cu viteza uluitoare de 70 000 de cuvinte pe minut. Acest satelit a pregătit proiectul Advent care a constat din lansarea a trei sateliți identici pe o orbită ecuatorială de 24 de ore (altitudine 35 000 km) și care a permis conectarea comunicațiilor obișnuite ca și a programelor de televiziune pentru întreaga lume, decongestionînd astfel rețelele existente. La 10 iulie și la 13 decembrie 1962 au fost lansați Telstar și Relay, care recepționează, amplifică și emit imediat mesajele și programele (telefonice, telegrafice, de telegrafie automată, programe T.V.); ei ating respectiv altitudinile de 5600 și de 7500 km, ceea ce le permite să funcționeze ca relee intercontinentale pe o anumită durată [17]. La 7 mai 1963 a fost lansat Telstar II.

Sateliții pot servi de asemenea ca radiofaruri pentru navigație. Pentru aceasta ar fi necesari mai mulți, iar dificultatea constă în cunoașterea poziției lor exacte. S-a realizat deja o astfel de experiență cu sateliții Transit care sînt controlați prin șase stații speciale; observațiile sînt trimise prin teletip la un centru de calcul care comunică elementele orbitei. Aceste elemente sînt trimise satelitului care le interpretează la rîndul său astfel încît să dea informații cu privire la drumul care se prevede că va fi urmat. Să remarcăm că doi dintre acești sateliți Transit au fost lansați în același timp cu un alt satelit, cu ajutorul aceleiași rachete, iar ultimul satelit de acest tip a fost lansat prin aceeași metodă împreună cu alți doi. Pentru a constitui un bun reper pentru direcție, el emite pe frecvențe speciale.

O altă aplicație directă este satelitul geodezic. Cu condiția de a se obține observații foarte precise cu privire la poziția lui, un astfel de satelit permite rataşarea teritoriilor izolate la rețeaua generală, ca și studierea formei geoidului sau mai exact a suprafețelor de nivel ale potențialului gravitațional. Un prim satelit geodezic, Anna 1 B (31 octombrie 1962), emite scurte semnale luminoase, astfel încît să garanteze simultaneitatea automată a pozițiilor vizate.

Menționăm o aplicație care era ușor de prevăzut, sateliții spioni: cei din seria Midas, Samos etc. Aceste aparate urmăresc în esență detectarea precoce a pornirii oricărei rachete importante, ca și detectarea exploziilor nucleare.

În sfîrșit, vehiculele spațiale, fără a diminua interesul acordat sateliților automatizați, care au avantajul că sînt în număr mare și au durate mari de funcționare, deschid posibilități imense. În domeniul cercetării ne putem aștepta la observații capitale atît asupra Pămîntului cît și asupra aștrilor; și de asemenea într-un viitor îndepărtat, la explorarea altor corpuri cerești, mai întîi ajungînd în apropierea lor, apoi depunînd aparate pe ele și poate chiar observatori. Dar toate acestea ne îndepărtează de satelitul artificial și ne duc prea departe în viitor.

REZULTATELE. În cadrul unei istorii a sateliților, cu toate că experiența este în plină dezvoltare, se poate vorbi deja de primele rezultate. Explorarea spațiului prin sondaj direct se oprea înainte la o altitudine de 40 km și numai de puțin timp rachetele permiteau incursiuni rapide pînă la vreo 500 km. Satelitul extinde domeniul cercetării la o înălţime de zece ori mai mare, iar sonda spaţială atinge distanţe interplanetare; dar în plus, satelitul permite să se facă un studiu practic continuu. Pe de altă parte, el explorează nu numai mediul pe care-l traversează ci şi tot ceea ce ajunge la el, cum ar fi diversele radiaţii; de asemenea el poate transmite tot ceea ce vede, privind spre Pămînt sau spre bolta cerească. Obiect material, el măsoară prin mişcarea sa densitatea atmosferei înalte şi, prin perturbaţiile acestei mişcări, forma Pămîntului.

---

[17] Pentru mai multe detalii cu privire la acest subiect, vezi studiul lui P. Marzin și J. Le Mézec, pp. 279–280.

În aceste condiţii, se înţelege că s-au obţinut deja numeroase rezultate în întregime noi sau îmbunătăţiri ale datelor anterioare.

Pentru început, Sputnik 1 a furnizat valori ale densităţilor care au constituit o primă revelaţie; extrapolarea datelor existente dădea o valoare de 14 ori mai mare! În prezent se întocmesc tabele de densităţi şi, mai mult, se urmăresc variaţiile lor cu activitatea solară.

Temperaturile nu ar putea caracteriza un mediu cvasi-vid; ele marchează de fapt o stare de echilibru între încălzirea satelitului de către Soare şi radiaţia sa în vid; în orice caz, ele condiţionează viaţa într-un vehicul spaţial şi chiar funcţionarea corectă a diferitelor aparate şi a bateriilor. Au fost deci studiate cu grijă temperaturile la suprafaţă şi în diferite puncte ale sateliţilor şi au fost controlate în timpul zborului sistemele de reglare termică instalate la bord.

Un rol foarte important a fost rezervat măsurării radiaţiilor electromagnetice şi a celor corpusculare primite de satelit: radiaţii ultraviolete, infraroşii, gamma şi diferite regiuni ale spectrului solar, radiaţii cosmice etc. Rachetele au permis deja să se traseze izofote ale anumitor părţi ale cerului în lungimea de undă de 1300 Å; avem motive să sperăm în realizarea unor sateliţi astronomici capabili să observe unul sau mai multe obiecte determinate[18].

Cu ajutorul sateliţilor s-au studiat totodată cîmpul magnetic şi electrostatic din jurul globului, particulele încărcate prezente în mediu, aurorele polare. Marea lor descoperire a fost cea a zonelor numite Van Allen, după numele fizicianului american care a reuşit să deceleze mai multe altitudini unde se manifestă o creştere bruscă a radiaţiei (vezi p. 370). Prima zonă se situează între 1000 şi 2000 km, cea de-a doua la aproximativ 25 000 km. Sondele spaţiale, şi mai recent sateliţii cu orbită foarte excentrică lansaţi în special cu acest scop, au avut înscris în programul lor studiul celei de-a doua zone şi căutarea altor zone posibile dincolo de ea.

În domeniul geodeziei s-a obţinut foarte curînd o valoare a turtirii terestre, cu siguranţă mai bună decît cea dedusă din măsurători îndelungate şi delicate făcute pe suprafaţa globului; de asemenea, au fost rataşate la reţelele continentale insule îndepărtate.

---

[18] Acest lucru a fost realizat prin lansarea sateliţilor din seria OAO (Orbiting Astronomical Observatory); rezultate deosebit de importante a furnizat în special OAO-3 (numit şi Copernicus), lansat la 21 august 1972 şi echipat cu instrumente de măsurare în ultraviolet. De asemenea, satelitul Uhuru, care efectuează măsurători în domeniul radiaţiilor X, a dus la descoperirea unui număr foarte mare de surse discrete de radiaţii X, efectuînd chiar curbe de variaţie a acestei emisii pentru unele surse cu variaţie periodică. — *I.G.*

Reamintim realizarea lui Lunik 3 (faţa invizibilă a Lunii), consemnăm prima explorare a unei planete prin apropierea rachetei de ea (Mariner II în apropiere de Venus) şi zborurile spre Lună ale navelor Rangers (1962), dintre care una a căzut pe Lună întocmai ca Lunik 2 în septembrie 1959. Subliniem, în sfîrşit, că strălucitelor rezultate ştiinţifice li s-au adăugat operaţiile utilitare ale sateliţilor de tip Tiros, Telstar şi Relay, de pe urma cărora beneficiază lumea întreagă, pentru a spune în concluzie că în viitor sateliţii vor interveni din ce în ce mai mult în viaţa noastră de toate zilele.

N. COSMOLOGIA ŞI COSMOGONIA

Cosmologia descrie Universul în starea sa actuală şi cercetează legile care îl guvernează. Cosmogonia studiază condiţiile care au existat la naşterea Universului, în cursul evoluţiei sale, şi examinează viitorul său.

În principiu, aceste două capitole ale astronomiei sînt net separate. Unul ar consta în observarea minuţioasă a fenomenelor, ajungînd să enunţe legi riguroase; acesta ar fi un capitol pur ştiinţific. Celălalt ar avea un aspect mai filozofic, mai aleator; ocupîndu-se de un trecut sau de un viitor foarte îndepărtat, cosmogonia s-ar mulţumi cu soluţii probabile, în stadiul actual al cunoştinţelor noastre, şi chiar ar putea propune mai multe soluţii; de exemplu, mult timp s-a ezitat în pronosticurile referitoare la destinul Pămîntului. Este el oare sortit unei morţi reci? Sau, dimpotrivă, umanitatea va pieri pentru că Globul va deveni prea fierbinte? Nu de mult, plauzibil părea primul caz. Astăzi, sîntem înclinaţi mai curînd spre cea de-a doua soluţie, Soarele fiind destinat, după cîte se pare, să devină, în cîteva miliarde de ani, o stea gigantă roşie. Dar este evident caracterul hazardat al acestor pronosticuri, care nu acordă nici un rol accidentelor (o ciocnire, deşi improbabilă, nu este absolut imposibilă) şi care se bazează pe o cunoaştere încă imperfectă a proceselor nucleare şi a proprietăţilor stelelor de tipul Soarelui.

Cu cît cunoaştem mai puţin Lumea, cu atît o explicăm mai uşor. Popoarele primitive şi oamenii simpli au o înclinaţie mult mai mare spre cosmogonie decît spre cosmologie. Cărţile sacre ale tuturor religiilor se bazează pe cosmogonii mai mult sau mai puţin sumare, care altădată erau luate *ad litteram* şi pe care astăzi autorităţile religioase le propun ca simboluri.

În cursul istoriei umane evoluţia ideilor despre Univers a fost extraordinară, astfel încît ipotezele cosmogonice au ajuns să fie discreditate.

Totuşi, dacă distincţia dintre cosmologie şi cosmogonie este justificată atunci cînd se consideră domeniul ceresc din imediata vecinătate a Pămîntului (de exemplu, cînd este vorba de sistemul solar sau, în ultimă instanţă, de Galaxia noastră), deosebirile se atenuează atunci cînd studiem părţile cele mai îndepărtate ale Universului care ne sînt accesibile astăzi.

Obiectele cele mai îndepărtate a căror distanţă era măsurată în 1963 se găsesc la o distanţă de aproximativ 6 miliarde de ani-lumină. Iar printre imaginile slabe de galaxii îndepărtate, care au fost înregistrate la Mount-Palomar, se află desigur unele şi mai îndepărtate, care îşi aşteaptă rîndul pentru a bate recordul — de exemplu, la o distanţă de zece miliarde de ani-lumină.

De fapt, noi observăm aceste galaxii în starea în care se aflau acum cinci sau zece miliarde de ani. Mesajul luminos ne aduce imaginea unui trecut îndepărtat. Factorul *timp* apare de la sine în cosmologie: un acelaşi clişeu conţine imagini a căror vîrstă se eşalonează între zero şi miliarde de ani. Acest interval de timp nu este neglijabil la scara cosmogonică: Pămîntul nu există decît de 4,5 miliarde de ani, Soarelui nostru i se atribuie o vîrstă cuprinsă între 5 şi 6 miliarde de ani şi însăşi Galaxia noastră, obiect eterogen, cu spirale complicate, nu pare să se fi format în urmă cu mai mult de douăsprezece miliarde de ani. Trebuie adăugat imediat că anumiţi astronomi sînt partizanii unei scări de timp mult mai mari pentru galaxii; în locul unei evoluţii progresive, ei au în vedere existenţa unor procese (neverificate pînă în prezent) care ar menţine aceste aglomerări stelare într-o stare staţionară, prin infuzie de materie nouă, sau prin refolosirea materiei stelelor îmbătrînite în creuzetul nucleului central. Cea mai mare parte dintre specialişti nu sînt de partea acestor concepţii îndrăzneţe, dar exemplul este suficient pentru a arăta că de acum înainte nu se mai poate separa cosmogonia de cosmologie. Sondajele noastre merg atît de departe încît pun încă de pe acum sub ochii noştri stări care se eşalonează pe toată durata de viaţă pe care o atribuim stelelor normale.

Populaţia observabilă în galaxiile foarte îndepărtate aparţine desigur unor generaţii anterioare celor pe care le observăm în Galaxia noastră. Culoarea acestor galaxii, caracterele lor spectrale, cinematica şi dinamica lor ne vor spune, atunci cînd vom reuşi să le analizăm, multe despre trecutul îndepărtat al propriei noastre Căi Lactee. În plus, dacă spaţiul este în *expansiune*, aşa cum cred mulţi, ar trebui să găsim că obiectele îndepărtate sînt mai apropiate între ele, avînd o densitate mai mare în spaţiu. Statistica imaginilor de galaxii de magnitudine din ce în ce mai mare (adică de strălucire din ce în ce mai slabă) ar trebui să servească, în anii care vin, drept verificare pentru ipoteza cosmogonică cea mai grandioasă, cea a Universului în expansiune. *Radiosursele* îndepărtate, care sînt identificate cu galaxii aflate într-o activitate deosebită (în ciocnire sau în curs de formare), furnizează deja un indiciu în favoarea acestei eterogeneităţi aparente a profunzimilor spaţiului care ar fi mărturia unui trecut îndepărtat.

Pe nesimţite, şi fără să o fi dorit, cosmologul a devenit deci în zilele noastre un cosmogonist militant, cu riscurile şi polemicile pe care le comportă acest domeniu. Putem să ne bucurăm: aceasta demonstrează că cosmogonia care, pînă nu demult, era obiectul ipotezelor mai mult sau mai puţin fondate, al dezvoltărilor subiective, a devenit un domeniu al ştiinţelor exacte. Ne aflăm încă în stadiul premiselor: cu excepţia novelor, primele dovezi concrete asupra evoluţiei corpurilor cereşti, trăsăturile principale ale acestei evoluţii şi explicarea lor teoretică sînt achiziţii dobîndite abia în ultimii 20 de ani. Incertitudinile din prezent, în special cele privind expansiunea Universului, vor fi îndepărtate într-un viitor apropiat. Desigur, enigmele de astăzi vor fi înlocuite de altele, cu toate acestea în prezent situaţia cosmogoniei s-a schimbat radical: altădată astronomul nu voia să aibă deloc de-a face cu ea. Chiar Laplace, nu-şi prezentase oare faimoasa sa ipoteză cosmogonică „cu neîncrederea pe care trebuie să o inspire tot ceea ce nu este un rezultat al observaţiei sau al calculului?“ În ciuda acestei precauţii prealabile, ipoteza lui Laplace, după un secol de renume fabulos, rămîne partea cea mai slabă, cea mai trecătoare a operei sale, cu toată exactitatea fenomenelor de la care pleca pentru a ajunge la cauza lor şi cu toată rigoarea deducţiilor mecanice. La sfîrşitul secolului al XVIII-lea fizica nu era în măsură să-i furnizeze un sprijin serios şi unele fenomene noi i-au alterat generalitatea punctelor de pornire (spre exemplu, descoperirea rotaţiilor în sens retrograd). Astăzi, progresele cosmologiei şi ale cosmogoniei urmează foarte îndeaproape progresele fizicii de avangardă, cu care, în plus, astrofizica se identifică adesea.

ISTORIC. Pînă în secolul al XVIII-lea astronomia a constat în studiul sistemului solar; stelele şi aranjamentele lor, în aparenţă invariabile, jucau rolul de puncte de reper şi de fundal pentru desfăşurarea spectacolului fundamental pe care-l constituiau deplasările a şapte aştri mobili — singurele elemente ale sistemului planetar cunoscute în acea epocă.

Spre mijlocul secolului al XVIII-lea au apărut primele încercări de explicare a Universului sideral: ele sînt opera filozofilor, spirite deschise ştiinţei, dar nespecializate în astronomie. Primul a fost Thomas Wright (*An original Theory or new Hypothesis of the Universe...*, 1750). Urmează apoi eseul celebrului filozof Immanuel Kant, *Istoria universală a naturii şi teoria cerului* (1755), destinat să explice construcţia Universului după principiile lui Newton. Kant îl citise şi-l admirase pe Wright. Urmează apoi Johann H. Lambert cu ale sale *Lettres cosmologiques* (1761). Aceşti trei autori sînt de acord în a considera Calea Lactee, puternică aglomerare de stele, drept elementul de structură fundamental. Ei au înţeles că sistemul stelelor vizibile nu este o panglică, nici un inel subţire, ci o profundă acumulare aplatizată, în formă de disc, al cărui diametru este mult mai mare decît grosimea. De asemenea, toţi trei au susţinut că spaţiul trebuie să fie populat indefinit de alte sisteme analoage izolate.

COSMOGONIA SISTEMULUI SOLAR. OBIECŢII ADUSE TEORIILOR CLASICE. Kant a dezvoltat în plus o serie de idei cu privire la naşterea sistemului solar, idei care, asociate mai tîrziu cu cele ale lui Laplace, au exercitat o influenţă prelungită. Dar Kant a comis mai multe greşeli de mecanică elementară pe care Laplace le-a evitat desigur. Pornind de la o nebuloasă amorfă de gaz rarefiat, el a presupus că, numai sub influenţa gravitaţiei, acest gaz ar putea să se condenseze în stele: în realitate, moleculele gazului s-ar dispersa în spaţiu în loc să se concentreze. Laplace a considerat apriori o regiune centrală densă, a cărei atracţie permite supravieţuirea sistemului.

În plus, Kant nu a prevăzut nici o rotaţie pentru nebuloasa sa iniţială. Cum *momentele de rotaţie* se conservă în cazul în care nu intervine un factor exterior sistemului (principiul inerţiei), sistemul lui Kant ar fi fost lipsit de mişcări de revoluţie. Dealtfel, problema rotaţiilor era dificilă chiar şi în sistemul lui Laplace. Aceasta deoarece Soarele, în care este concentrată 99% din masa întregului sistem, nu se roteşte în jurul unei axe perpendiculare pe planul mediu al orbitelor planetare, aşa cum ar fi de aşteptat. Înclinarea sa faţă de acest plan este de 7°, ceea ce nu este de neglijat. Pe de altă parte, în sistemul solar actual, momentele de rotaţie au o distribuţie neobişnuită. Soarele, atît de masiv, nu a păstrat decît 3% din momentul de rotaţie *total* (şi *iniţial*, pentru că acesta se conservă), în timp ce planetelor, care reprezintă mai puţin de 1/700 din masa totală a sistemului solar, le revine 97% din momentul de rotaţie total. Procesul de contracţie lentă şi uniformă a nebuloasei lui Laplace nu poate explica această anomalie[19].

Pentru a remedia aceste anomalii o serie de cosmogonişti presupun intervenţia mai mult sau mai puţin catastrofală a unuia sau mai multor aştri perturbatori în geneza sistemului: ciocnire sau semiciocnire cu o altă stea, generatoare de maree puternice, intervenţia unui astru geamăn, sau chiar a unei stele triple etc. Imaginaţia ar putea furniza un număr aproape nelimitat de combinaţii, pe cît de puţin probabile, pe atît de puţin necesare.

Un alt argument în defavoarea ipotezei Kant-Laplace, precum şi a ipotezei mareelor, este tendinţa gazului de a se dispersa. Agitaţia termică împiedică concentrarea unui inel de gaz de densitate mică. Afortiori, un filament de temperatură înaltă ejectat de Soare, sub influenţa unei maree uriaşe, s-ar dispersa cvasiinstantaneu în spaţiu în loc să se fragmenteze şi să se coaguleze în planete.

În zilele noastre, se preferă cercetarea posibilităţii organizării sistemului planetar de către un protosoare pornind de la un mediu de particule solide aflate în mişcare în vecinătatea sa, înzestrate deja cu rotaţia necesară.

Mai multe teorii actuale (von Weizsäcker, Kuiper), evitînd dificultăţile anterioare, încearcă să explice în plus principalele caracteristici frapante, cum ar fi legea distanţelor planetare a lui Titius-Bode (vol. III, 1, p. 157). Dar aceste teorii îşi iau un avantaj prea mare plecînd de la o stare iniţială deja bine structurată, iar geneza sistemelor secundare (sateliţii) este într-un acord destul de puţin satisfăcător cu ele.

Pe scurt, în ceea ce priveşte sistemul solar, dacă cosmogonia vede de acum înainte dificultăţile care trebuie evitate şi dificultăţile care trebuie învinse, nu se impune încă nici o soluţie pe deplin satisfăcătoare; existenţa unor teorii opuse şi apariţia frecventă de noi sugestii arată clar că problema rămîne încă deschisă.

COSMOLOGIA LA SCARĂ MARE. GALAXIA NOASTRĂ. Între 1780 şi 1820, lucrările lui William Herschel au înlăturat orice îndoială faţă de concepţia Wright-Kant-Lambert cu privire la o Galaxie foarte profundă, acumulare aplatizată de stele formînd un disc al cărui contur aparent are, pentru noi care ne găsim în interiorul ei, aspectul Căii Lactee, cu roiurile sale de stele, cu regiunile sale întunecate, cu nebulozitățile sale strălucitoare în care gazul cosmic este iluminat, cu marea sa eterogeneitate. Prin sondajele sale statistice, din magnitudine în magnitudine, pe toată întinderea sferei cerești, pe care el le numea etalonări, W. Herschel a stabilit numeric acumularea progresivă de stele slabe — din ce în ce mai îndepărtate — în planul median al Căii Lactee (vol. III, 1, p. 151).

---

[19] Este foarte interesant de remarcat că această anomalie nu se repetă în cazul sistemelor parţiale constituite de planete şi de sateliţii lor. Sateliţii atît de numeroşi ai lui Jupiter sau ai lui Saturn nu au decît un moment de rotaţie total foarte slab faţă de cel al planetei lor.

A trebuit însă să se aștepte pînă în anul 1918 pentru a se înregistra un nou progres, esențial, neașteptat și de o mare semnificație, atît filozofică cît și astronomică. Cu ajutorul roiurilor globulare, sateliți ai Galaxiei, în număr egal la nord și la sud de planul său, care se acumulează însă în direcția constelației Săgetătorul, Harlow Shapley a reușit să determine poziția și depărtarea centrului de greutate al acestei imense aglomerări care este Galaxia noastră. Două rezultate importante au frapat la vremea respectivă:

1. *Soarele se află la 30 000 de ani-lumină de centru.* Este deci mai curînd o stea marginală în Galaxie. Aspectul destul de simetric al inelului galactic, de-a lungul unui cerc mare al sferei cerești, a condus la ideea că Soarele ar fi o stea apropiată de centru. Antropocentrismul nostru natural acceptase cu bucurie această situație privilegiată, sugerată de aparențe. Dintr-o dată, trebuia să ne resemnăm la o situație mai puțin glorioasă, aproape periferică, pe care nici un considerent, nici vechi nici nou, nu ne făcuse să o prevedem. Toate statisticile stelare din secolele al XIX-lea și al XX-lea sugerau o descreștere a densității spațiale a stelelor în toate direcțiile în jurul nostru. Din 1930 știm că absorbția luminii de către praful interstelar este cauza principală a acestui rezultat amăgitor. Pe de altă parte, Shapley indica Săgetătorul drept constelația în care se situează, în perspectivă, centrul galactic.

2. *Diametrul Galaxiei este de ordinul a 100 000 ani-lumină.* Acest al doilea rezultat (rectificat și debarasat de influența absorbției interstelare) arăta ordinul de mărime nebănuit al marilor aglomerări stelare. Pînă la acea epocă, distanța maximă pînă la care ajungeau investigațiile era de ordinul de mărime a 10 000 ani-lumină.

Rezultatele lui Shapley au fost confirmate zece ani mai tîrziu prin punerea în evidență a rotației galactice. Olandezul Jan Oort a arătat că Soarele se rotește pe o orbită circulară cu o viteză de 215 km/s în jurul centrului indicat de Shapley, la distanța de 8,2 kiloparseci (aproximativ 28 000 ani-lumină).

Această viteză circulară este suficientă pentru a determina ordinul de mărime al masei totale a Galaxiei (după formula care exprimă echilibrul dintre atracția acestei mase exercitată asupra Soarelui și forța centrifugă a rotației de care am vorbit). Se găsește o valoare egală cu 200 miliarde de mase solare.

Cercetări recente, bazate în principal pe radioastronomie (linia de 21 cm a hidrogenului neutru), au permis să se precizeze traseul mai multor brațe spirale, în care densitatea în gaz și în stele este mult mai mare decît în spațiile dintre ele. Astfel Galaxia noastră intră în familia galaxiilor spirale ale căror imagini sînt atît de interesante.

FAMILIA GALAXIILOR POPULEAZĂ SPAŢIUL. Abia în 1924, evidenţiind stelele din care sînt compuse spirele marii noastre vecine, galaxia Messier 31 din Andromeda, Hubble a pus capăt unei controverse îndelungate asupra adevăratei naturi a acestor obiecte spirale. Imensitatea galaxiei noastre îi făcuse pe unii să creadă că ea ar putea, singură, să constituie Universul. Aceştia considerau deci spiralele ca nebulozităţi intragalactice. Clişeele lui Hubble arată clar că Messier 31 are o structură stelară identică cu cea a Căii Lactee, ba chiar mai bogată şi mai complexă. Cu ajutorul a numeroase stele variabile descoperite în această galaxie, distanţa sa a fost stabilită la 2 milioane de ani-lumină. Ea este puţin mai mare şi mai masivă decît Galaxia noastră.

Astăzi, ştim că spaţiul, atît cît ne permit să vedem privirea, fotografia, radiotelescoapele, este populat de galaxii de forme diferite: sferoidale, spirale sau neregulate. Galaxiile se grupează de preferinţă în mici grupuri, în roiuri, sau chiar în vaste asociaţii de mai multe mii de unităţi. Popularea spaţiului este deci, la scară mică, inegală. Dar dacă avem în vedere domenii suficient de mari pentru ca aglomerările locale să devină neglijabile, popularea spaţiului în galaxii apare ca omogenă şi izotropă. În nici o direcţie nu avem impresia că ne apropiem de vreun centru sau de vreo margine.

În acest stadiu este cazul să ne îndreptăm gîndul spre primele concepţii ale anticilor, care atribuiau cercului şi sferei un rol primordial în cosmologie. Unităţile cu care lucrează cosmologul sînt acum galaxiile, unde sfera nu-şi mai găseşte locul; iar sferei solide şi bine închise a firmamentului i se atribuie căutarea unui model plauzibil de Univers în cadrul geometriilor neeuclidiene.

DEPLASAREA SPECTRULUI GALAXIILOR ŞI CONSTANTA LUI HUBBLE. Mişcarea radială a unui astru în raport cu observatorul implică o deplasare a spectrului, deplasare proporţională cu viteza radială relativă a obiectului. Dacă această mişcare este o îndepărtare, deplasarea se produce spre extremitatea roşie a spectrului.

Spectrele galaxiilor prezintă un decalaj $\Delta\lambda$ spre roşu, ca şi cum s-ar îndepărta de observator, adică de propria noastră Galaxie. Decalajul prezintă caracteristicile efectului clasic Doppler-Fizeau (în particular, $\Delta\lambda / \lambda$ este independent de lungimea de undă λ aleasă în spectru — lucru verificat pînă la o eroare de 1%).

Dar această deplasare spre roşu prezintă în plus o proprietate surprinzătoare şi anume ea este proporţională cu distanţa pînă la galaxia considerată, ca şi cum galaxiile s-ar îndepărta cu o viteză proporţională cu distanţa lor pînă la observator.

De regulă se admite să se descrie deplasarea spre roşu prin indicarea vitezei care i-ar corespunde dacă ar fi vorba de un efect Doppler-Fizeau obişnuit. Dar, pentru a aminti că în realitate este vorba de un fenomen mai complex, în care intervine distanţa (faţă de care efectul Doppler obişnuit este independent), această viteză este numită în mod simbolic *viteză de recesie.*

Descoperirea fenomenului fundamental merită să fie descrisă. Pionierul a fost W. M. Slipher, de la Flagstaff (Arizona), care a măsurat, între 1912 şi 1922, 42 de viteze radiale de galaxii şi a semnalat că ele erau în mare măsură pozitive (viteze de îndepărtare), recordul în acest lot fiind de + 1800 km/s.

Cîteva excepţii (viteze negative, de apropiere), care se referă la galaxii vecine, se explică prin rotaţia propriei noastre Galaxii: astfel Messier 31 din Andromeda se apropie cu o viteză de 300 km/s, mai ales pentru că rotaţia galactică ne face să ne deplasăm în această direcţie cu o viteză de aproximativ 200 km/s; restul de 100 km/s este atribuit unei translaţii relative a lui M. 31 şi a Galaxiei noastre în grupul local de galaxii căruia îi aparţin.

Cînd, în 1924, Hubble a descoperit existenţa unor cefeide în galaxiile vecine, el a trecut la măsurarea distanţelor tuturor nebuloaselor ale căror viteze radiale fuseseră obţinute de Slipher—etalonînd stelele supergigante din aceste galaxii. În 1928, el a publicat legea deplasărilor spectrale, numită astăzi *legea lui Hubble*, şi interpretată în mod curent ca o *relaţie distanţă-viteză.*

Decalajul este proporţional cu distanţa, altfel spus: viteza de recesie este proporţională cu depărtarea. Viteza de îndepărtare părea să crească cu 160 km/s pe milion de ani-lumină distanţă. Viteza de îndepărtare a roiului Virgo este de 1 240 km/s (valoare stabilită astăzi cu ajutorul a 32 de viteze radiale ale unor galaxii care fac parte din roi). Hubble a atribuit deci acestui roi o distanţă de circa 8 milioane ani-lumină.

Se ştie în prezent că distanţele găsite de Hubble sînt în medie de şapte ori mai mici decît cele reale — în timp ce valorile vitezelor rămîn neschimbate. *Constanta de recesie* este considerată astăzi ca fiind în jur de 25 km/s (în loc de 160) pe milion de ani-lumină distanţă. În lucrările şi articolele de specialitate se indică o valoare de 75 km/s/megaparsec (1 megaparsec = 3,26 milioane ani-lumină).

În prezent au fost determinate vitezele radiale a mai mult de 1000 de galaxii: aceste viteze se eşalonau, în anul 1962, între zero şi 150 000 km/s (jumătate din viteza luminii); legea rămîne liniară, cel puţin în limita imperfecţiunilor legate de măsurarea distanţei, imperfecţiuni mari, mai ales atunci cînd ne apropiem de limitele de percepţie ale instrumentelor. Legea este valabilă pentru toate tipurile de galaxii şi pentru orice direcţie pe sfera cerească.

Valoarea pe care am indicat-o pentru constanta lui Hubble poate fi acceptată în mod provizoriu ca fiind cea mai bună, în aşteptarea unei etalonări sigure, care poate să mai dureze cîţiva ani. S-ar putea ca atunci să fie înlocuită printr-o valoare dublă sau de două ori mai mică, e bine să fim preveniţi[20].

PROBLEMA COSMOLOGICĂ. Problema unei forme de ansamblu, a unei structuri geometrice a Universului, se pune la fel ca şi cea a formei Pămîntului. La prima vedere, suprafaţa terestră se prezintă ca un plan, deformat ici şi colo de adîncituri şi ridicături. Dacă se neglijează aceste accidente locale, dacă se nivelează suprafaţa, se constată că Pămîntul are o curbură generală. Această curbură închizîndu-se, Pămîntul apare ca o suprafaţă sferică, sau, în a doua aproximaţie, elipsoidală.

Materia stelară este capabilă, cu siguranţă, să altereze proprietăţile spaţiului *fizic*, sau mai curînd să altereze ideea falsă pe care ne-o facem despre un spaţiu

---

[20] Ultimele măsurători ale lui A. Sandage (1973) indică o valoare cuprinsă între 50 şi 75 km/s/megaparsec. — *I.G.*

ideal. În vecinătatea Soarelui, spaţiul nu este euclidian: numai o încăpăţînare stupidă ne mai poate face să ne îndoim de acest fapt. Din aproape în aproape, în jurul stelelor, vom găsi deci *curburi* diferite, după masele lor diferite şi după gradul lor de *concentrare.*

Dar făcînd abstracţie de aceste denivelări locale, nu există oare o curbură generală a Universului? Materia care umple Universul în ansamblul său este incapabilă să facă la scară mare ceea ce face fiecare concentrare de materie în jurul ei, la scara respectivă? Iar noi, în ceea ce ne priveşte, ce motive am avea pentru a dori să păstrăm o schemă apriori de Univers euclidian şi infinit, atunci cînd constatăm că în jurul fiecărei stele spaţiul nu este euclidian?

SOLUŢIA LUI EINSTEIN. Pentru simplificare se impun cîteva convenţii: pentru a şterge denivelările locale, Einstein presupune materia stelelor dispersată în spaţiu şi distribuită *uniform.* Altfel spus, cercetările se vor aplica unei pîcle gazoase de densitate constantă.

Ce metrică, ce geometrie poate avea acest Univers schematic, dacă se ţine seama de legile relativităţii generale?

Avînd în vedere valoarea mică a vitezelor stelare faţă de viteza luminii (în acea epocă nu se ştia nimic despre fenomenul de îndepărtare a galaxiilor), Einstein a presupus o agitaţie medie nulă a mediului său uniform şi a căutat o soluţie *statică,* adică o metrică independentă de timp sau, cu alte cuvinte, un model stabil. Din fericire, spaţiile omogene şi izotrope în conformitate cu legile gravitaţiei relativiste nu sînt decît în număr de trei: spaţiul *euclidian* (care, cu curbura sa nulă, este considerat de fizicianul modern ca un caz particular foarte improbabil), spaţiul lui *Lobacevschi* (cadru al primei geometrii neeuclidiene) şi, în sfîrşit, spaţiul *sferic* cu curbură constantă pozitivă, care este *închis* (este suprafaţa unei *hipersfere*).

În 1917 Einstein a arătat că numai cea de-a treia soluţie convenea problemei în modul în care o pusese el şi a publicat formulele modelului său static, în care singura necunoscută era densitatea ρ a pîclei sale (densitate care urma să fie determinată prin observaţie). Raza R a hipersferei şi masa totală M a Universului sînt date de o formulă simplă, în funcţie de ρ. Dar valoarea lui ρ este încă foarte controversată — şi rezultatele lui Einstein sînt lipsite de interes dacă ipoteza unui model stabil şi static nu este valabilă.

UNIVERSUL ÎN EXPANSIUNE. În 1922, A. Friedmann descoperă că problema cosmologică comportă o infinitate de soluţii dacă se abandonează ipoteza unui Univers static. Pot exista diferite modele de Univers compatibile cu ecuaţiile gravitaţiei ale lui Einstein dacă „metrica“ lor variază în funcţie de timp. În particular, modelele închise (hipersferice sau eliptice) pot să aibă o „rază“ sau mai bine spus o curbură totală variabilă cu timpul. Modelele deschise (hiperbolice sau pseudoeuclidiene) se întind la infinit, dar distanţele dintre galaxiile lor variază în permanenţă.

Corelaţia frapantă dintre acest rezultat teoretic şi fenomenul de îndepărtare universală a galaxiilor a fost cunoscută şi a făcut senzaţie mult mai tîrziu. În 1927, abatele Georges Lemaître a construit un model în care teoria și observația erau simultan examinate și puse în acord. Dar această încercare a căzut la rîndul ei în uitare pînă în ziua în care Eddington i-a asigurat o largă publicitate, prin 1930. Împreună cu Lemaître trebuie să cităm și pe mulți alți pionieri ai cosmologiei dinamice: Robertson (1928), Heckmann (1931), Einstein și de Sitter (1932), Tolman (1934) etc.

Teoria metricii variabile permite atît contracția cît și expansiunea. Observația este cea care a determinat alegerea expansiunii.

Expansiunea Universului este o proprietate a metricii, a spațiului, și nu a galaxiilor, cărora li se atribuie o *viteză proprie nulă*, în colțul lor de Univers, în raport cu vecinele lor, pentru a calcula recesiile relative la un observator dat.

Această teorie, cu tot gradul de abstracțiune pe care îl implică, și cu toată noutatea revoluționară a proprietăților spațiului dintre insulele de materie, a cîștigat numeroși adepți în momentul în care Eddington a demonstrat (1930) că Universul static al lui Einstein nu poate avea decît un echilibru instabil. O. Heckmann a extins această demonstrație la toate modelele de Univers propuse, inclusiv Universul euclidian, infinit, al lui Newton (1942).

Este justificată deci ideea că deplasarea spre roșu a luminii galaxiilor exprimă această proprietate generală.

Dar este evident că modelele noastre actuale de Univers sînt cît se poate de rudimentare. Ele nu folosesc deloc posibilitățile oferite de geometriile riemaniene cu mai mult de trei dimensiuni și schematizează realitatea în mod abuziv. Nu se ține cont nici de electromagnetism, nici de proprietățile nucleare. Einstein și cîțiva dintre discipolii săi nu au reușit în mod convingător în încercările lor de a crea o *teorie unitară*, în cadrul căreia o supergeometrie ar explica atît gravitația cît și proprietățile electromagnetice din Univers. Cunoștințele noastre de fizică și de matematică trebuie să mai evolueze pentru ca o sinteză plauzibilă să devină posibilă: fără îndoială că problema nu este încă în stadiul de a fi rezolvată.

Tot astfel, pentru a confrunta observația cu teoria, este foarte necesară aprofundarea cunoștințelor noastre din domeniul deja străbătut și lărgirea sensibilă a acestui domeniu. Aceasta deoarece toate criteriile propuse pentru a alege între diferitele modele publicate pînă în prezent nu oferă o discriminare netă decît la distanță foarte mare: la limitele investigațiilor noastre actuale, modelele nu diferă încă sensibil.

În plus, problema care se pune este de a ști pînă la ce punct este caracteristic eșantionul de Univers pe care îl avem sub ochi. Atunci cînd sistemul lumii însemna sistemul planetar, sfera solidă a firmamentului era suficientă pentru a limita ambiția. Chiar foarte recent, atunci cînd însăși existența galaxiilor era incertă, cînd îngrămădirile de stele ale Căii Lactee reprezentau partea esențială a percepțiilor noastre, problema pusă astăzi nu se putea nici măcar concepe. Fapt este că din anii 1920—1930, cînd s-a deschis fereastra asupra Universului galaxiilor, spațiul cercetat a ajuns de la cîteva *milioane* la cîteva *miliarde* de ani-lumină, fără ca aspectul să se fi schimbat. De la cîteva galaxii gigante, catalogate la început, am trecut la posibilitatea de a recenza miliarde de membri ai acestei familii, scrutînd imagini palide pînă la magnitudinea 24 pe clișeele luate la Mount-Palomar cu telescopul cu deschiderea de 5 m, imagini mult mai numeroase dincolo de Calea Lactee, decît cele ale stelelor interpuse, în fiecare arie a bolţii cereşti.

Avem sentimentul că de acum înainte se vor menţine aceleaşi caracteristici de populare a spaţiului pe care le înregistrăm în prezent. Eşantionul actual este cu totul „neglijabil" dacă Universul este deschis. Dacă Universul este închis, situaţia este ceva mai bună, deşi nici în cazul acesta eşantionul nostru nu poate reprezenta decît o fracţiune mică din întreg; un lucru este sigur: o curbură puternică ar fi fost pusă deja în evidenţă.

Unii astronomi cred că domeniului în expansiune în mijlocul căruia ne aflăm poate să-i succeadă un domeniu în contracţie şi aşa mai departe, la fel cum se succed nodurile şi ventrele într-o coardă vibrantă. Este foarte dificil să se combată concepţii care încă nu au luat o formă riguroasă şi care pînă în prezent nu se sprijină pe nici un fapt.

Au fost destul de numeroşi cei care au negat pur şi simplu expansiunea: numărul lor scade pe măsură ce experienţa noastră se îmbogăţeşte. Timp de cîţiva ani au apărut aproape zilnic teorii care pretindeau să explice decajul spectral al galaxiilor fără a face să intervină recesia. Cea mai mare parte dintre ele erau evident false. Unele, în aparenţă mai bine fundamentate, au rezistat un timp înainte de a se prăbuşi. În prezent, cred că putem afirma fără a greşi sau a omite ceva că, în afară de recesie, nici o altă explicaţie a spectrului galaxiilor nu se poate susţine în mod întemeiat. Bineînţeles, apar încă teorii adverse, dar numărul lor este din ce în ce mai redus. Dar asalturile inutile din timpurile eroice i-au dat teoriei relativiste a Universului suficientă forţă pentru ca partizanii săi să fie liniştiţi.

Cei mai buni cosmologi la ora actuală consideră că va fi probabil necesară o perioadă de o sută de ani pînă la crearea unui model de Univers bine fundamentat teoretic, sprijinit pe cunoştinţe suficient de vaste, care să convină ştiinţei pentru o perioadă poate tot atît de mare ca modelul euclidian al lui Newton. Generaţia noastră nu va avea fericirea de a cunoaşte acest rezultat, dar ea a trăit cel puţin în timpul naşterii exaltante a erei ştiinţifice în cosmogonie.

O. RADIOASTRONOMIA

1. Începuturile radioastronomiei

PRECURSORII. Puţin după descoperirea undelor radio, la sfîrşitul secolului al XIX-lea, Sir Oliver Lodge pare să fi avut primul ideea că Soarele trebuie să emită unde radio aşa cum emite unde luminoase. Şi Deslandres s-a ocupat de această problemă la începutul secolului nostru, iar Nordmann, la puţin timp după primul război mondial, a încercat fără rezultat să detecteze emisiuni radioelectrice ale Soarelui.

Abia după cincisprezece ani progresele radiotehnicii au permis să se asigure succesul unei astfel de acţiuni.

PIONIERII. Karl G. Jansky, inginer la laboratoarele firmei *Bell Telephone*, este cel care a făcut prima observaţie radioastronomică: ea a fost întîmplătoare şi s-a datorat îndeosebi spiritului său metodic şi perspicace.

În 1932, K. Jansky studia problema unei legături radio între Anglia şi America de Nord. Dispunînd de o antenă destul de întinsă, care opera pe lungimea de undă de 15 m, el a remarcat o uşoară creştere a zgomotului de fond al aparatelor sale receptoare. El a notat că acest fapt se reproducea zilnic cam la aceeaşi oră, cu 4 minute mai devreme decît în ziua precedentă, şi a dedus de aici originea siderală a semnalului pe care îl primea: observase astfel pentru prima oară radiaţia radio care provine din centrul Galaxiei noastre.

Prinşi în alte preocupări, astronomii nu i-au acordat acestei descoperiri publicate într-o revistă de fizică întreaga importanţă pe care o merita: au considerat că această radiaţie era de origine termică şi puţin interesantă. Zece ani mai tîrziu, un alt american, G. Rober, a dezvoltat observaţiile lui Jansky.

Tînăr radioelectrician fără formaţie specială, animat de încrederea autodidactului, pasionat de astronomia populară, Grote Rober este probabil reprezentantul cel mai pitoresc al radioastronomiei. El a construit prin mijloace proprii, în curtea casei sale, un radiotelescop cu diametrul de 8 m şi, indus în eroare de falsa interpretare pe care profesioniştii o dăduseră radiaţiei galactice, a încercat să-şi folosească oglinda pe lungimea de undă de 10 cm; un adevărat tur de forţă pentru acea epocă. El nu a obţinut nici un rezultat căci radiaţia nu era de origine termică; în plus, nu se ştie de ce, el a omis observarea Soarelui, pe care ar fi putut-o face fără îndoială cu uşurinţă. Pînă la urmă, cu aparatul său echipat pentru o lungime de undă mai mare, el trasează prima hartă galactică în unde radio, care de data aceasta convinge lumea întreagă de importanţa observaţiilor sale.

J.S. Hey în Anglia şi G.C. Southworth în Statele Unite au observat pentru prima oară, în timpul ultimului război, radiaţia radio a Soarelui pe lungimi de undă scurte; dar aceste observaţii nu au fost comunicate decît la sfîrşitul ostilităţilor.

SPIRITELE SUBTILE. Fiind o ştiinţă tînără, promovată iniţial de echipe de fizicieni foarte tineri de formaţie obişnuită (cea de specialist în radar în timpul războiului), radioastronomia este o ştiinţă în cadrul căreia s-au stabilit schimburi numeroase şi contacte frecvente între cei care i s-au dedicat. Aşa încît deseori este dificil să se deosebească partea care revine fiecăruia din masa de descoperiri semnificative care marchează dezvoltarea sa. Totuşi, trebuie să cităm cîteva persoane al căror spirit pătrunzător a deschis căi largi de dezvoltare:

În primul rînd, J.S. Hey, ofiţer cu specialitatea radar în Anglia; în timpul războiului şi după aceea, cu aparate care se deosebeau foarte puţin de cele care îi serveau la detectarea avioanelor germane, Hey a descoperit emisiunile extraordinare ale Soarelui care însoţesc erupţiile atmosferice (1942), prima radiosursă extragalactică şi fenomenele de scintilaţie (1946), precum şi ecourile radar pe traiectoriile meteorilor (1947).

H.C. van de Hulst, care în 1945 a prezis teoretic existenţa liniei de 21 cm a hidrogenului, care avea să fie observată 6 ani mai tîrziu aproape simultan în Olanda, în Australia şi în Statele Unite.

În sfîrşit, remarcabila echipă australiană condusă de J.L. Pawsey, formată din J.G. Bolton, J.P. Wild, B.Y. Mills, W.N. Christiansen, G. Little, care s-a evidenţiat printre altele prin conceperea celor mai multe dintre tipurile de aparate de observaţie folosite astăzi în radioastronomie: interferometrul marin şi interferometrul cu două antene, interferometrul cu antene multiple, crucea lui Mills, spectrograful dinamic.

În tot timpul scurtei istorii a radioastronomiei, multe idei noi în domeniul interpretărilor teoretice au fost aduse de doi savanţi sovietici: I.S. Şklovski şi V.I. Ginsburg. Totuşi, se pare că H. Alfven a fost primul care, în 1950, a avut ideea de a atribui emisiunile radiosurselor radiaţiei sincrotron a electronilor relativişti de energie foarte înaltă. Astăzi această interpretare nu mai este pusă la îndoială şi stă la baza unui mare număr de dezvoltări teoretice privind atît dinamica galaxiilor cît şi originea radiaţiilor cosmice.

2. Dezvoltarea echipamentului

Observaţiile radioastronomice necesită în general folosirea unor instrumente mari şi a unor echipe destul de diversificate pentru utilizarea acestora. De fapt, avîntul lor a fost strîns legat de crearea unor grupuri importante şi de dezvoltarea mijloacelor de observaţie.

Mijloacele necesare observaţiilor astronomice au fost puse într-adevăr la punct ca urmare a progreselor tehnicii radarului în timpul celui de-al doilea război mondial. Dealtfel, la început, radioastronomia s-a dezvoltat în ţările anglo-saxone unde existau, rămase disponibile odată cu sfîrşitul ostilităţilor, grupe de fizicieni experimentaţi şi dotaţi cu instrumente de observaţie potrivite: în Anglia, *Cavendish Laboratory* din Cambridge cu M. Ryle[21] şi staţia de la Jodrell Bank cu A.C.B. Lovell; în Statele Unite, *Naval Research Laboratory*, iar în Australia, grupul C.S.I.R.O. din Sydney cu J.L. Pawsey.

În Europa occidentală, Olanda, cu J.H.Oort şi H.C. van de Hulst de la Observatorul din Leyda, este prima care a recuperat rămînerea în urmă datorată ocupaţiei. Această rămînere în urmă a fost depăşită în Franţa datorită lucrărilor efectuate la Şcoala Normală Superioară de către J.L. Steinberg şi E.J. Blum şi la Institutul de Astrofizică de către M. Laffineur. Abia în 1954 au fost create grupul de la Observatorul din Meudon cu J.F.Denisse şi staţia de radioastronomie de la Nançay. Cam în acelaşi timp au fost create centrul de la Bonn, în Germania, şi mai multe centre importante în U.R.S.S., în primul rînd cele de la Pulkovo, Moscova şi cel din Crimeea.

---

[21] Pentru descoperirile lor în domeniul astrofizicii, radioastronomii englezi M. Ryle şi A. Hewish au primit premiul Nobel pentru fizică pe anul 1974. — *I.G.*

În sfîrşit, în ultimii ani, în Statele Unite au fost create două grupuri destul de importante: cel de la *California Institute of Technology* cu J.G. Bolton şi cel de la Green Bank aparţinînd Asociaţiei Universităţilor (A.U.R.A.).

În cursul anilor toate aceste grupuri au fost dotate cu instrumente din ce în ce mai puternice, interferometre sau radiotelescoape. Printre acestea, cea mai remarcabilă rămîne oglinda parabolică cu diametrul de 75 m de la Jodrell Bank, pusă în funcţiune în 1958; oglinda de 65 m terminată în 1961 în Australia este sensibil mai precisă; acelaşi lucru este valabil pentru radiotelescopul semifix al staţiei de la Nançay, care în forma sa definitivă va avea o suprafaţă aproape dublă faţă de precedentele.

3. Evoluţia marilor descoperiri

RADIOASTRONOMIA-RADAR ŞI METEORII. J.S. Hey a fost primul care a descoperit că traiectoriile meteorice sînt susceptibile de a trimite înapoi ecouri radar. Această nouă tehnică, radioastronomia-radar, a permis imediat să se detecteze mult mai mulţi meteori observabili atît ziua cît şi noaptea.

Printre principalele rezultate obţinute în cursul anilor care au urmat, cu ajutorul unor tehnici din ce în ce mai rafinate, dezvoltate în principal de către J.S. Hey şi grupul de la Jodrell Bank condus de A.C.B. Lovell, trebuie să cităm descoperirea unui număr foarte mare de roiuri noi de meteori, ca şi dovada definitivă că cvasitotalitatea meteorilor se mişcă pe o traiectorie eliptică şi prin urmare aparţin sistemului solar.

După aceea radioastronomia-radar s-a dezvoltat considerabil, obţinîndu-se primele ecouri pe Lună în Statele Unite în 1946, pe Venus în 1958 şi, în sfîrşit, pe Soare în 1959, toate acestea datorită instrumentelor din ce în ce mai puternice, construite în Statele Unite.

PLANETELE. Grupul de la *Naval Research Laboratory* din Statele Unite a contribuit cel mai mult în cursul ultimilor zece ani la măsurarea radiaţiei radioelectrice a planetelor. Astfel au fost detectate pe lungimi de undă centimetrice în mod succesiv Luna, Jupiter, precum şi Saturn şi Mercur.

În 1955, B.F. Burke şi K.L. Franklin au descoperit un tip de radiaţie deosebit de intensă pe unde decametrice provenind de la planeta Jupiter; aceste emisiuni unice în felul lor corespund probabil unor condiţii cu totul speciale care trebuie să existe în atmosfera externă a acestei planete.

SOARELE. A.E. Covington a început, în 1946, prima serie de măsurători sistematice asupra radiaţiei solare pe lungimea de undă de 10 cm. Aceste măsurători extrem de precise, neîntrerupte pînă astăzi, au servit ca bază pentru o mulţime de studii privind radiaţia radio a cromosferei şi a coroanei inferioare. Efectuate astăzi în numeroase ţări (în special în Japonia şi în Olanda) şi îmbunătăţite prin măsurători interferometrice (în Australia, în Japonia şi în Franţa) ele au permis identificarea la suprafaţa Soarelui a unor condensări fierbinţi de gaz aflate deasupra faculelor şi a regiunilor magnetic active.

Cunoştinţele noastre privind fenomenele radioelectrice foarte complexe care însoţesc erupţiile cromosferice se datorează în esenţă, pe de o parte exploatării, începînd din 1952, de către J.P. Wild şi colaboratorii săi, a spectrografului dinamic de la Sydney şi, pe de altă parte, observaţiilor efectuate din 1956 la Nançay de către A. Boischot şi colaboratorii săi cu ajutorul marelui interferometru.

Grupul de la Sydney a adus partea cea mai importantă a cunoştinţelor noastre asupra comportamentului ejecţiilor tipice (izbucniri de tipurile II şi III) care se manifestă la începutul erupţiei; grupului de la Nançay i se datorează identificarea surselor de emisie de mare intensitate asociate formării de particule cosmice în vecinătatea Soarelui (izbucniri de tip IV), ca şi studiul aprofundat al urmărilor acestor emisiuni: furtuni magnetice şi furtuni radio. O metodă foarte fructuoasă pentru studiul coroanei superioare, care foloseşte ocultaţia radiosursei asociate Nebuloasei Crab de către atmosfera Soarelui, se datorează iniţiativei lui A. Hewish şi a lui V.V. Vitkevici.

SUPERNOVELE. J. G. Bolton şi colaboratorii săi au identificat pentru prima oară una din radiosursele cele mai puternice de pe cer cu rămăşiţele unei supernove: Nebuloasa Crab, care a explodat cu aproximativ 900 de ani în urmă.

Mai tîrziu, a fost identificată o duzină de supernove mai mult sau mai puţin vechi, mai ales datorită cercetărilor lui M. Ryle, R. Minkowski şi W. Baade pentru Cassiopeea (radiosursa cea mai puternică din Univers şi probabil una dintre cele mai recente), ale lui Hanbury R. Brown pentru Dantela din Cygnus care are mai mult de 100 000 de ani.

LINIA DE 21 cm. Studiile asupra radiaţiei hidrogenului intergalactic în linia de 21 cm pot fi considerate în multe privinţe ca una din contribuţiile majore ale radioastronomiei.

Ele se datorează în special lucrărilor olandezilor (J.H. Oort, H.C. van de Hulst şi colaboratorii lor) pentru emisfera nordică şi australienilor (J.C. Kerr şi colaboratorii săi) pentru emisfera sudică, ca şi unor studii efectuate în Statele Unite şi în Anglia. Ele au condus imediat la formarea unei imagini coerente a structurii Galaxiei noastre şi în special la conturarea netă a braţelor sale spirale şi a norilor de hidrogen care le compun, la descoperirea unei structuri foarte complexe în regiunile centrului galactic, unde se observă mişcări de expansiune semnificative, şi la date importante privind conţinutul în hidrogen al cîtorva galaxii vecine cu a noastră.

Odată cu punerea în funcţie a marilor telescoape moderne trebuie să ne aşteptăm la un nou impuls în acest domeniu fundamental de observaţie.

HALOUL GALACTIC. Descoperirea haloului galatic a fost făcută de către J.E. Baldwin în 1955; făcînd un studiu foarte detaliat al observaţiilor, el a reuşit să arate că Galaxia noastră este scufundată într-un nor magnetizat de formă aproape sferică şi populat probabil de particule de energie foarte mare. Pe de altă parte, B.Y. Mills a arătat că o concentraţie importantă a acestor particule energetice există și în brațele spirale. După aceea, s-a observat un halou de aceeași natură și în alte galaxii, mai ales în Andromeda.

RADIOSURSELE EXTRAGALACTICE. Într-o perspectivă îndepărtată, este probabil că descoperirea radiosurselor extragalactice va rămîne contribuția esențială a radioastronomiei la cunoașterea noastră asupra Universului și foarte mulți radioastronomi s-au dedicat problemelor extrem de dificile ridicate de studiul lor.

Școala de la Cambridge, cu M. Ryle și colaboratorii săi, avînd la dispoziție instrumente uriașe, a căutat să identifice cît mai multe radiosurse pentru a le studia în mod statistic. Școala de la Sydney cu J.L. Pawsey, B.Y. Mills, dispunînd de mijloace mai puțin ambițioase dar mai precise, a adus o contribuție fundamentală pe o cale analoagă.

Primele studii au arătat în mod indiscutabil că aceste radiosurse erau de origine extragalactică, relativ puțin numeroase și majoritatea foarte îndepărtate. Datorită observațiilor de poziție foarte precise ale lui F.G. Smith, ele au dus în particular la identificarea, în 1953, de către Baade și Minkowski, a radiosursei din Cygnus cu o galaxie dublă cu totul deosebită. Această descoperire, datorată, ca și cea din Cassiopeea, telescopului de la Mount-Palomar, este capitală pentru că ea a dezvăluit importanța reală a radiosurselor.

În cursul ultimilor ani, problema radiosurselor a fost abordată de grupurile de la Jodrell Bank, de la *California Institute of Technology* și de la Nançay, pe o cale complet diferită, care constă în obținerea de date privind structura și diametrele unui număr relativ limitat de radiosurse.

Aceste studii au arătat caracterul extrem de complex al acestor obiecte și au făcut ca anumite teorii propuse pentru interpretarea lor să devină îndoielnice, mai ales aceea care propunea considerarea lor ca fiind galaxii în ciocnire.

O altă identificare, la fel de importantă și datorată tot lui R. Minkowski în 1960, este cea a radiosursei din Bouarul cu un roi de galaxii destul de dens a cărui distanță a putut fi evaluată la aproximativ 5 miliarde de ani-lumină. Acest roi reprezintă obiectul cel mai îndepărtat descoperit pînă în prezent de astronomi; această identificare a confirmat faptul că majoritatea radiosurselor sînt probabil foarte îndepărtate și dincolo de posibilitatea de detectare a celor mai puternice telescoape optice și a ilustrat totodată în mod clar sprijinul reciproc pe care și-l pot acorda unii altora astronomii și radioastronomii.

Astfel, interesului pe care îl prezintă studiul în sine al acestor galaxii excepționale i se adaugă speranța că, permițînd extinderea limitelor Universului accesibil, ele reprezintă un mijloc, poate singurul disponibil, pentru rezolvarea marilor probleme cosmologice legate de structura, evoluția și originea Universului.

În cei zece ani care au trecut de la apariția ediției originale a acestei cărți, toate ramurile astronomiei au cunoscut o dezvoltare extraordinară, într-un ritm nemaiîntîlnit pînă acum. Aducerea la zi a faptelor prezentate în această scurtă istorie ar necesita un spațiu mult prea mare și, în plus, descoperirile se succed atît de rapid, încît peste doi ani, sau chiar peste un an, ar fi necesară o nouă completare.

De aceea renunţăm la prezentarea realizărilor care erau mai mult sau mai puţin de aşteptat, sau care se încadrează în progresul continuu al uneia sau alteia dintre ramurile astronomiei sau astrofizicii, mărginindu-ne la o trecere în revistă a unor descoperiri de importanţă capitală, făcute în ultimii zece ani, care au adus elemente cu totul noi şi neaşteptate în efortul nostru de a cunoaşte şi înţelege Universul.

PULSARII, STELELE NEUTRONICE. În decembrie 1967, radioastronomii de la Cambridge (Anglia) au descoperit nişte surse de unde electromagnetice avînd caracteristici cu totul deosebite. Aceşti aştri emiteau intens unde radio cu intermitenţe, de unde şi numele de „pulsari“ care li s-a dat, prescurtare de la *pulsating radio sources*, adică radio-surse pulsante. Perioada pulsarilor, deosebit de constantă, diferă de la unul la altul, avînd valori cuprinse între 4 secunde şi 30 milisecunde. Descoperirea lor a fost posibilă datorită creşterii puterii radiotelescoapelor şi datorită progreselor înregistrate în domeniul instrumentelor electronice ataşate radiotelescopului. La început s-a crezut că aceste surse emit numai în domeniul undelor radio, dar ulterior s-au descoperit pulsari care au şi o emisie optică, şi chiar în domeniul radiaţiilor X. Exemplul cel mai cunoscut de pulsar care emite în toate aceste domenii este cel al pulsarului din centrul Nebuloasei Crab, rămăşiţă a supernovei din anul 1054, supernovă care a fost observată şi consemnată de astronomii orientali. Destul de repede, prin metode bazate în principal pe efectele legate de propagarea undelor în spaţiul interstelar, a fost estimată distanţa la care se află aceste obiecte. S-a văzut că aparţin Galaxiei noastre, avînd distanţa cuprinsă între 100 şi 1000 de parseci. În prezent toată lumea este de acord că pulsarii sînt de fapt stele neutronice în rotaţie rapidă, reprezentînd deci ultimul stadiu din evoluţia unei stele. Calculul teoretic al unor modele de stele neutronice a fost făcut încă din 1938 de către Oppenheimer şi Volkoff, care au folosit ecuaţia de stare a unui gaz Fermi degenerat şi au aplicat legile teoriei relativităţii generalizate pentru calculul echilibrului hidrostatic. Ei au găsit o limită a masei, dincolo de care nici presiunea gazului neutronic degenerat nu mai poate opri colapsul, steaua contractîndu-se în continuare pînă devine o singularitate. În prezent, prin aplicarea unei ecuaţii de stare mai realiste, s-a estimat că limita Oppenheimer-Volkoff trebuie să fie de aproximativ 3 mase solare. În general pulsarii au masa puţin mai mică decît masa Soarelui, iar raza lor este de cîteva zeci de km, avînd deci o densitate enormă, de ordinul a 10^{14}g/cm^3. De asemenea, au un cîmp magnetic foarte puternic, cu intensitatea în jur de 10^{12} gauss. Perioada lor, deşi deosebit de stabilă, prezintă totuşi o creştere uniformă foarte lentă, datorată pierderii de energie prin emisie de unde electromagnetice.

SURSELE DE RADIAŢII X. Se ştie că atmosfera Pămîntului este complet opacă pentru radiaţiile X. Acesta este motivul pentru care astronomia în radiaţii X nu a apărut decît odată cu începutul erei spaţiale. Se poate spune că această ramură a astronomiei a intrat cu adevărat într-o fază de studiu sistematic al Universului abia începînd cu data de 12 decembrie 1970, dată la care a fost lansat primul satelit de observaţii în radiaţii X, satelit numit UHURU. După primele 70 de zile de observaţie a fost întocmit primul catalog de surse X. El conţine 125 de surse în domeniul 2—10 keV, avînd diferite intensităţi. Cea mai strălucitoare este sursa Scorpius X-1, care a fost descoperită prima, iar cea mai slabă este Nebuloasa Andromeda, M 31. Unele aparţin Galaxiei, altele sînt obiecte extragalactice. Cea mai mare parte dintre aceste surse sînt variabile (peste

70%). Şapte dintre ele sînt rămăşiţe de supernove şi alte şapte sînt binare. Cea mai interesantă dintre ele este Her X-1, care a fost identificată cu steaua variabilă HZ Herculis, o stea dublă cu eclipsă avînd perioada de 1,7 zile. Emisia în domeniul X are aceeaşi perioadă, iar minimele corespund în timp. Steaua principală este o stea albastră, în timp ce sursa X este un pulsar (o stea neutronică) cu o perioadă de 1,2 secunde. Rezultate analoge au fost obţinute pentru Cen X-3, care de asemenea este o stea variabilă cu perioada de 2,097 zile, conţinînd în acelaşi timp un pulsar cu perioada de 4,8 secunde. Se consideră că emisia de radiaţii X apare în urma atracţiei de către steaua neutronică a particulelor provenite de la steaua normală. O sursă cu totul ieşită din comun este Cyg X-1, care coincide în acelaşi timp cu o sursă radio şi cu o stea dublă spectroscopică cu perioada de 5,6 zile, al cărui obiect central este o supergigantă de tip BO avînd masa de aproximativ 12 mase solare. Dar din datele spectroscopice rezultă că suma maselor celor două stele trebuie să fie de cel puţin 15 mase solare. Rezultă deci că această stea ar depăşi limita Oppenheimer-Volkoff despre care am vorbit, fapt care, corelat cu unele caracteristici deosebite ale acestei surse, i-a făcut pe mulţi astrofizicieni să considere că Cyg X-1 este prima „gaură neagră“ observată.

QUASARII. Istoria descoperirii quasarilor a început în anul 1963 cînd Hazard, Mackey şi Shimmins, măsurînd cu mare precizie poziţia radiosursei 3 C273, au putut identifica această sursă cu o stea albastră de magnitudine 13. Făcînd un spectru al acestui obiect, Schmidt a obţinut linii de emisie pe care la început nu le-a putut interpreta. Atunci el şi-a pus întrebarea dacă nu cumva acest spectru corespunde unui spectru normal însă avînd o mare deplasare spre roşu, ca în cazul galaxiilor îndepărtate, deşi obiectul avea formă punctuală de stea. Într-adevăr, procedînd astfel, el a stabilit că era vorba de o deplasare spre roşu $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ de 0,158. Foarte curînd a devenit clar că dacă 3 C273 ascultă de legea lui Hubble, atunci această sursă are o strălucire intrinsecă neobişnuit de mare. Cum distanţa ei este de $5 \cdot 10^8$ parseci, şi cum are magnitudinea 13, rezultă că trebuie să aibă o strălucire de 100 de ori mai mare decît a celei mai strălucitoare galaxii cunoscute. Acest lucru pune probleme foarte dificile astrofizicianului, însă pentru cosmolog oferă speranţa că vom putea observa obiecte şi mai îndepărtate, putînd verifica astfel modelele cosmologice. În anii următori au fost într-adevăr descoperiţi alţi quasari, cu o deplasare spre roşu din ce în ce mai mare. În prezent valoarea cea mai mare la care s-a ajuns este $z = 3,53$, ceea ce corespunde unei viteze de îndepărtare de 90% din viteza luminii. Totuşi, avînd în vedere unele proprietăţi ale quasarilor dificil de înţeles, şi în primul rînd dificultatea legată de energia fantastică pe care trebuie să o genereze, unii astrofizicieni ca Hoyle, Burbidge, Arp etc. consideră că aceste obiecte sînt mult mai apropiate de noi decît se crede şi că deplasarea spre roşu are alte cauze decît expansiunea Universului. Pînă acum ei nu au reuşit însă să dea o explicaţie satisfăcătoare bazată pe efecte locale.

RADIAŢIA REMANENTĂ DE 3°K. În anul 1965, doi cercetători de la *Bell Telephone Laboratories*, Penzias şi Wilson, au descoperit cu totul întîmplător că pe lungimea de undă de 7 cm cerul are o temperatură de aproximativ 3°K, adică este cam de o sută de ori mai cald decît era de aşteptat pe baza radiosurselor cunoscute. Imediat, Dicke, Peebles, Roll şi Wilkinson au interpretat acest lucru ca datorîndu-se radiaţiei cosmice de corp negru prezisă cu 20 de ani mai înainte de Gamow şi Dicke. Conform teoriei elaborate de Gamow, în primele stadii ale Universului s-a stabilit un echilibru termodinamic între materie şi cîmpul de radiaţie de corp negru corespunzător unei temperaturi foarte ridicate, suficiente pentru declanşarea unor reacţii termonucleare soldate cu formarea heliului şi a altor elemente uşoare. Pe măsură ce Universul s-a extins, această radiaţie şi-a păstrat caracterul de radiaţie de corp negru, numai că temperatura corespunzătoare a scăzut invers proporţional cu creşterea dimensiunilor liniare în Univers. Temperatura prezentă a acestei radiaţii fusese estimată de Gamow care a impus condiţia ca procentul actual de heliu observat în Univers să corespundă celui format în primele stadii. El găsise valoarea de 10°K, deci destul de apropiată de cea reală. În anii care au urmat, eforturile au fost îndreptate în vederea stabilirii caracterului de radiaţie de corp negru şi stabilirii izotropiei ei. Măsurători foarte precise, făcute în mai multe lungimi de undă, de la 60 cm la 0,30 cm, au stabilit clar că este vorba de o radiaţie izotropă de corp negru corespunzătoare temperaturii de 2,7 ± 0,3°K. Această descoperire, considerată ca cea mai mare descoperire făcută în cosmologie de la stabilirea legii lui Hubble, a adus o confirmare neaşteptată dar foarte categorică a principiilor de omogenitate şi izotropie pe care se bazează cosmologia şi un argument puternic în favoarea modelului de Univers avînd un început fierbinte, pornind de la o singularitate (modelul *big-bang*). — *I.G.*

PARTEA A PATRA

ȘTIINȚELE VIEȚII

Introducere

Dezvoltarea şi progresele ştiinţelor vieţii au fost considerabile în prima parte a secolului al XX-lea. Îi veţi ierta, desigur, unui endocrinolog faptul că se referă în primul rînd la descoperirile realizate în domeniul hormonilor. Mecanismul hormonal şi cel nervos, care dirijează viaţa organo-vegetativă, pot uneori fuziona: în hipotalamus, o aceeaşi celulă, înzestrată cu toate calităţile morfologice ale celulei nervoase, este capabilă să secrete şi hormoni. Aceşti neurohormoni acţionează asupra antehipofizei vecine, o obligă să elibereze stimulinele sale, care vor excita, la rîndul lor, activitatea celorlalte glande endocrine. Legătura hipotalamică neurohormonală formată permite înţelegerea faptului că unele impresii periferice, transmise prin nervi la hipotalamus, pot ajunge în adîncul organismului: astfel se realizează reflexele neuroendocrine, dintre care unele reprezintă mecanisme admirabile. Hormonul, o substanţă chimică, nu este el oare procedeul primitiv, înlocuit treptat de neuron, care pare adesea a-şi aminti de el?

Stimulinele hipofizare sînt peptide, adică lanţuri mai scurte sau mai lungi de aminoacizi, greu de izolat, dar tot mai bine cunoscuţi[1]. Liberatorii hipotalamici ai acestor stimuline sînt, fără îndoială, tot peptide, studiate astăzi în mod aprofundat. Ceilalţi hormoni descoperiţi au fost perfect identificaţi datorită remarcabilelor lucrări ale chimiştilor. În sintezele lor, aceştia nu se mai mulţumesc să imite organismul, ci încearcă să-l depăşească, creînd în creuzete produse artificiale care oferă, uneori, anumite avantaje faţă de hormonii naturali. Dar dorinţa de a corecta natura nu este lipsită de riscuri şi se cunosc exemple funeste ale acestor încercări.

Studiul fiziologic al unui hormon poate fi mult uşurat dacă este efectuat prin intermediul unei culturi *in vitro*. În acest mod s-a reuşit să se menţină în viaţă, timp îndelungat, celule în afara organismului; ne putem imagina ce informaţii preţioase se acumulează în cursul unor astfel de cercetări. Totdeauna este necesar „să gîndim celular“, spunea, la timpul său, Claude Bernard, dar celula reprezenta pe atunci unitatea de substanţă vie. În zilele noastre, celula este obiectul unor cercetări amănunţite, ca şi atomii care o formează. Microscopul electronic a extins considerabil limitele morfologiei şi astăzi virusurile şi bacteriofagii pot fi fotografiați[2]. Chiar și specialiștii în domeniul chimiei fizice participă la aceste disecții. Se pun, astfel, bazele domeniului biologiei moleculare și ale chimiei fizice macromoleculare. Macromoleculele proteinelor spiralate devin centrul problemei vieții. Și iată că însuși mecanismul sintezei lor în intimitatea celulei este „demontat“ și studiat. Încep să se întrevadă procesele fizico-chimice ale eredității prin analiza schimburilor dezoxiribonucleice și ribonucleice. Se încearcă chiar biosinteza proteinelor *in vitro*[3], în prezența unor organite celulare speciale, ribozomii, care lucrează în mod normal în interiorul citoplasmei, conform comenzilor care sînt programate de anumiți mesageri proveniți de la cromozomi. Acești cromozomi dețin puterea supremă, ceea ce se bănuia de mai multe decenii. Se cunoaște tot mai bine structura lor fină și influența lor considerabilă. Anomaliile care îi afectează uneori, în cursul peregrinărilor lor, oferă informații prețioase asupra etiologiei unor boli, socotite incurabile pînă în prezent, cauza lor constînd într-o perturbare a informației cromozomice. Dar informația poate fi alterată pe cale experimentală și cine știe ce mai poate rezulta?

---

[1] Astăzi se cunoaşte structura chimică a majorităţii hormonilor, iar unii au fost sintetizaţi, chiar, în laborator (ocitocina, insulina, hormonul somatotrop). — *V.E.*

Printre problemele esențiale ale biologiei vom menționa, de asemenea, și pe cea a evoluției, atît de complexă și cu aspecte atît de diverse, cea a autoreglării, care joacă un rol încă din ou etc. Fenomenele reproducerii se clasează tot în această categorie privilegiată, fecundația continuînd să fie acoperită de mister, în ciuda strălucitelor rezultate ale partenogenezei experimentale, atît de ignorată în prezent.

Există și alte probleme foarte importante pe care secolul nostru le-a abordat cu succes, dintre care vom cita cîteva: fenomenele de imunitate și grefele, antibioticele, noile concepții din zoologie, avîntul paleontologiei, progresele fiziologiei vegetale (auxinele și fotosinteza), procesele de nutriție etc. Aceste diverse subiecte sînt expuse în capitolele următoare ale acestei a IV-a părți, de către diferiți specialiști. Vom constata că progresele din științele vieții sînt la fel de rapide ca și în celelalte științe. Se observă o dominare tot mai accentuată a experienței cantitative, deși aceasta nu constituie o noutate, dacă ne gîndim la Lavoisier. „Măsoară ceea ce se poate măsura și fă măsurabil ceea ce nu este încă“, această afirmație a lui Galilei însuflețește pe biologii contemporani în timp ce responsabilitatea lor de „descoperitori“ nu încetează să se amplifice: alături de energia atomică se ridică chimia creierului și enorma influență a micromoleculelor asupra comportării indivizilor.

---

[2] S-au fotografiat și macromolecule (proteine și acizi nucleici). Recent s-a izbutit fotografierea unei gene (gena „lac“). — *V.E.*

[3] Biosinteza proteinelor *in vitro* este un fapt împlinit. Primul polipeptid (polifenilalanina) a fost sintetizat de Nirnberg și Matthei. — *V.E.*

CAPITOLUL I

Viața elementară

A. CELULA

De la stabilirea doctrinei celulare în secolul al XIX-lea, orice biolog gîndește și se exprimă „celular“. Secolul al XX-lea n-a făcut decît să meargă pe urmele trasate anterior. Cultura de țesuturi (R.G. Harrison, 1907; A. Carrel, 1910-12) a dovedit că celula, extrasă și plasată *in vitro* în condiții potrivite, se hrănește, se divide, se multiplică și se deplasează.

NOILE DIRECȚII ALE CERCETĂRII. Secolul al XX-lea a revizuit și a extins cunoașterea structurii celulare, datorită perfecționării metodelor vechi și introducerii unor metode noi: cercetările asupra condriomului (F. Meves, 1900—1908), aparatul lui Golgi (1898), dictiozomii (Perroncito, 1909), ergastoplasma (Bouin, Garnier, 1899—1900), cinetida (Chatton, 1924). S-au înregistrat anumite progrese în perfecționarea instrumentelor care permit obținerea unei imagini fidele și considerabil mărite a celulei; alte progrese se referă la celula însăși, realizîndu-se îmbunătățirea fixării și a colorării ei, precum și la unele încercări de a o examina în stare vie[4].

Utilizarea microscopului binocular s-a generalizat; dispozitivul de contrast de fază permite, mai ales în ultimii 15 ani, distingerea diferitelor structuri ale celulei vii fără ajutorul coloraţiilor. Introducerea în biologie a microscopului electronic a permis saltul de la măriri de 2 500 ori la 50 000—70 000 ori, ceea ce a îngăduit, după 1950, obţinerea unor rezultate importante[5]. Vom mai menţiona utilizarea luminii ultraviolete, a luminii polarizate, a fluorescenţei, a histospectrografiei etc.

Îmbunătăţind metodele de fixare şi de colorare, se încearcă obţinerea de secţiuni tot mai subţiri şi mai regulate, urmărindu-se din ce în ce mai mult cunoaşterea celulei vii. Au fost folosiţi aşa-numiţii coloranţi vitali, capabili să pătrundă în celula nefixată (Renaut şi Dubreuil, 1906; Parat, 1924 etc.). Studiul celulei vii necesită realizarea de preparate subţiri. Deoarece elementele ţesuturilor vii nu se pretează la acest studiu, cultura ţesuturilor *in vitro* a fost de un mare ajutor. Utilizarea contrastului de fază în acest caz a permis realizarea unor examinări fructuoase şi a microcinematografiei (Michel, 1943) — metodă deja folosită şi la microscopul obişnuit (J. Comandon, 1906; J. Jolly, 1913 etc.). Culturile *in vitro* ale unui embrion întreg (Jolly) au permis observarea la microscop a somitelor, a sistemului vascular, a primelor bătăi cardiace etc. Astăzi pot fi urmărite diferitele faze ale diviziunii celulare (J. Frédéric şi M. Chévremont, 1951), fagocitele în funcţiune etc. Biologul ştie, de asemenea, să efectueze asupra celulei vii anumite intervenţii chirurgicale, ceea ce constituie microdisecţia (Chambers, 1921). Micromanipulatorul permite deplasarea sub microscop a unor microace (Comandon şi P. de Fonbrune, 1939), a unor micropipete cu ajutorul cărora se poate extrage nucleul întreg sau unul dintre cromozomii săi, sau se pot efectua injecţii intracelulare.

---

[4] Vezi şi studiul lui A. Tétry (pag. 631).

[5] În prezent, microscopul electronic a atins performanţe deosebite ajungîndu-se la o putere de rezoluţie (distanţa minimă dintre două puncte la care acestea pot fi diferenţiate) de 1,2 Å. În domeniul cercetării biologice este suficientă o rezoluţie de 10—12 Å, întrucît performanţele realizate în obţinerea preparatelor de examinat au rămas în urma celor atinse de tehnica microscopiei electronice. — *V.E.*

Microscopul electronic permite analizarea diferitelor organite ale celulei fixate, scoţînd în evidenţă organizarea complexă a unor formaţii care la microscopul optic apar omogene. Dealtfel, microtoame speciale permit obţinerea unor secţiuni de ţesuturi de grosimi foarte mici (100—200 Å).

NUCLEUL ŞI CITOPLASMA. Mult timp s-a admis faptul că cromozomii dispar între două mitoze, dizolvîndu-se în sucul nuclear. Astăzi se ştie că ei nu îşi pierd niciodată individualitatea (Guyénot, 1951). După ce au fost identificaţi la nivelul nucleelor anumitor celule în intervalul de timp ce separă mitozele, s-a reuşit extragerea lor (Mirsky şi Follister, 1943). Microscopul electronic a confirmat această persistenţă (P.P. Grassé şi colaboratorii). Persistenţa cromozomului în viaţa celulară, fisurarea sa longitudinală şi împărţirea egală între cele două celule-fiice concordă perfect cu teoria eredităţii cromozomice (vezi pag. 710).

Progresele recente au permis, de asemenea, cunoaşterea structurii nucleolului.

Microscopul cu contrast de fază a evidenţiat existenţa unui filament, nucleolonema (Estable şi Sotelo, 1950), regăsit şi la microscopul electronic (Borysko şi Bang, 1947; Bernhard şi colaboratorii, 1952). Acest organit nu mai apare ca un simplu material de rezervă, sau ca un deşeu; el intervine în sinteza proteinelor celulare, ceea ce explică conţinutul său ridicat în acid ribonucleic. Nucleolonema ar constitui sediul principal al sintezei coenzimelor nucleotidice care intervin în oxidările celulare şi ar participa la edificarea cromozomilor.

Citoplasma este formată dintr-o substanţă hialoplasmică în care se scaldă diverse incluziuni.

Unele dintre acestea, produse ale metabolismului celular, reprezintă protoplasma inertă sub formă de vacuole, de granule de secreţie, de pigmenţi etc. Altele, bine studiate la microscopul electronic, joacă un anumit rol în chimismul celular: condriomul, aparatul Golgi, ergastoplasma, microzomii. Mitocondriile şi condriocontele, care formează condriomul, sînt formaţii ovoide sau în formă de bastonaşe, mărginite de o membrană periferică, adesea dublă şi compartimentată prin membrane care pot avea un perete dublu (Sjöstrand, 1953). Mitocondriile au putut fi izolate prin ultracentrifugare (A. Claude, 1941-43) şi li s-a studiat compoziţia chimică: lipide, proteine, diastaze (enzime), vitamine, acid adenozintrifosforic (ATP). Condriomul joacă un rol esenţial în reacţiile chimice al căror sediu îl constituie celula, şi în special în respiraţie; dar acum nu se mai consideră că mitocondriile şi condriocontele se pot transforma în granule secretoare. Granulele de secreţie se formează la nivelul aparatului Golgi şi al ergastoplasmei. Aceste două organite sînt fascicule de lamele cu perete dublu, grupate paralel unele lîngă altele şi care posedă o suprafaţă considerabilă. În membranele ergastoplasmei există, de asemenea, nişte mici granule, denumite granulele lui Palade (Porter şi Palade, începînd din 1950). Între aceste diverse formaţii, hialoplasma conţine, în suspensie, granule foarte fine, microzomii (A. Claude, 1943). În privinţa originii lor, se admite că aceşti microzomi constituie suportul acidului ribonucleic, rolul lor principal fiind legat de sinteza proteinelor (Zamecnik, 1960).

Organitele celulare, descoperite mai ales la sfîrşitul secolului al XIX-lea, sînt astfel studiate dintr-un triplu punct de vedere: al structurii, al constituţiei şi al funcţiei. Orientarea citochimică a fost iniţiată încă de la începutul secolului al XX-lea.

Biologul contemporan studiază cele mai mici amănunte ale celulei, o observă în stare vie, operează asupra ei şi îi localizează componenţii chimici. Celula apare, astfel, ca o populaţie de particule figurate în competiţie metabolică, ca un organism complex care prezintă diferenţieri ale unităţilor sale constituente şi coordonări funcţionale.

Nucleul acţionează asupra citoplasmei, fiind necesar menţinerii microzomilor. Păstrător al caracterelor ereditare, iniţiator al autoreproducerii şi al diferenţierii materiei vii, nucleul este indispensabil vieţii celulare. Dimpotrivă, el nu este sediu al respiraţiei, cum se credea la sfîrşitul secolului al XIX-lea şi totul se petrece ca şi cum mitocondriile ar scăpa de sub controlul său. Şi, în sfîrşit, nucleul nu este activ din punct de vedere metabolic decît în celula în repaus; din acest punct de vedere, celula este comparabilă în cursul mitozei cu o citoplasmă fără nucleu. În ciuda schimburilor chimice continue ce au loc, în interiorul celulelor există echilibre şi valori constante.

Astfel, există un raport constant între volumul nucleului şi cel al citoplasmei unei celule (relaţia nucleoplasmică a lui R. Hertwig, 1903: $N/P = \text{const.}$). În plus, se observă şi un echilibru ionic: pH-ul este menţinut la o valoare constantă datorită unor substanţe tampon. Se distinge, de asemenea, un coeficient lipocitic (Mayer şi Schaeffer, 1908); acesta este raportul colesterol/acid gras, care reglează inhibarea apei legate în materia vie; această inhibare este o constantă celulară pentru un ţesut dat.

ORGANIZAREA FIZICO-CHIMICĂ ŞI CHIMICĂ A MATERIEI VII. Fundamentată în secolul al XIX-lea, ştiinţa fizico-chimiei a fost aplicată imediat în domeniul materiei vii. Concepţia conform căreia protoplasma este un coloid s-a afirmat la începutul secolului al XX-lea (Botazzi) cu o nouă precizare, potrivit căreia este vorba de un gel electronegativ (Mayer). Starea amfolită a proteinelor, existenţa punctelor izoelectrice specifice şi aplicarea principiilor de electroforeză derivă din această concepţie.

Descoperirile *biochimiei* reprezintă realizări capitale ale secolului al XX-lea; ele se fac simţite în toate ştiinţele care studiază viaţa. Aceasta necesită existenţa unor „fenomene", care au încetat să constituie subiecte de ironie în momentul în care formula lor a fost stabilită. Fabricarea unor produse de sinteză organice a dat un impuls enorm diverselor aspecte, teoretice şi practice, ale biologiei. În linii mari, realizările recente sînt următoarele: continuarea cercetărilor din secolul al XIX-lea asupra componentelor materiei vii, a formulei lor, producerii lor *in vitro*, determinarea dimensiunii şi structurii moleculei lor (cu ajutorul spectrelor de difracţie a radiaţiilor X); descoperirea unor substanţe capabile de o mare activitate: vitamine, enzime, hormoni; analiza metabolismelor care se dovedesc deosebit de complexe în etapele lor intermediare datorită suprapunerilor dintre catabolismul şi anabolismul diverselor clase de substanţe.

Progresele tehnice din chimia organică au jucat un rol preponderent în analiza şi sinteza acestor constituenţi şi în cunoaşterea transformărilor lor în organism. În afară de electroforeză şi de „marcarea" atomilor prin utilizarea radioizotopilor, cromatografia aduce şi ea mari servicii[6], permiţînd separarea unor substanţe complexe pe calea absorbţiei specifice a solvenţilor lor. Pe lîngă utilizarea curentă în domeniul biochimiei, aceste metode au dus la descoperiri importante: separarea şi dozarea aminoacizilor, structura insulinei etc.

Odată cu începutul secolului al XX-lea a continuat inventarierea componenţilor chimici ai materiei vii. Aceştia nu au nimic misterios, iar „molecula vitală", atît de mult căutată înainte de era modernă, nu există. Încă din 1862, E. Wagner a redus substanţa fiinţelor vii la trei categorii de structuri organice simple: glucide (sau hidraţi de carbon), lipide (sau grăsimi) şi proteine (sau materii azotate[7]). Înainte de 1900 s-au continuat cercetările din domeniul chimiei componenţilor materiei vii: protide, glucide, lipide, carotenoizi, săruri minerale, apă. Numeroşi compuşi chimici au fost nu numai extraşi şi analizaţi, ci şi fabricaţi sintetic. Importanţa anumitor substanţe a conferit o actualitate deosebită studiului lor: colesterolul, hormonii sexuali şi corticosuprarenali, vitamina D, aparţinînd grupului sterolilor; carotenoizii, clorofila şi hemoglobina, aparţinînd grupului cromoproteinelor; nucleoproteinele şi acizii nucleici, capabili de activităţi vitale remarcabile.

PRINCIPALII CONSTITUENŢI AI MATERIEI VII. În cursul secolului al XX-lea au fost realizate progrese considerabile în identificarea compuşilor organici care constituie materia vie, precum şi în stabilirea formulelor şi în sinteza lor.

În ceea ce priveşte glucidele, la frontiera ultimelor două secole, E. Fischer a efectuat sinteza glucozei, a manitei şi a fructozei. Zaharoza a fost sintetizată (în 1928) de Pictet şi Vogel, iar glicogenul, de Kissling, pornind de la esterul lui Cori. Structura ciclică a zaharurilor constituie obiectul cercetărilor clasice ale lui Haworth (1924). Este studiată compoziţia heterozidelor (asociaţii ale zaharurilor cu alte substanţe) şi în special cea a principiului activ al digitalei. Terminologiile actualmente în uz (oze, ozide) datează de la sfîrşitul primului sfert de secol. Se descoperă faptul că vitamina C aparţine familiei acizilor uronici (Szent-Györgyi) şi, în sfîrşit, că mucopolizaharidele intră în compoziţia substanţei fundamentale a ţesuturilor conjunctive: acidul lor hialuronic este sensibil la hialuronidază, un „factor de difuzie" care fluidizează ţesuturile conjunctive de umplere şi de protecţie.

---

[6] Vezi şi studiul lui A. Ihde (pag. 409–416).

[7] Există şi alte substanţe care conţin azot, diferite de proteine. — *V.E.*

Prima încercare de clasificare a compuşilor grupaţi astăzi sub denumirea de *lipide* constituie opera lui Overton şi Meyer (1900). Colesterolul este cunoscut din 1775 (Conradi), dar constituţia sa n-a fost determinată decît în 1932 (Windaus şi Wieland); Windaus stabileşte faptul că ergosterina este provitamina antirahitică D_2. Cunoştinţele noastre asupra hormonilor steroidici (testiculari, ovarieni, corticosuprarenali) sînt legate de această categorie de cercetări. Lipidele complexe, cărora le aparţin şi lecitinele, au fost de asemenea analizate: glicerofosfoaminolipidele, de Delezenne şi Fourneau, iar sfingoaminolipidele, de Levene[8].

În ceea ce priveşte *protidele*, secolul al XIX-lea a fost — începînd cu Braconnot şi sfîrşind cu E. Fischer — martorul încercărilor de a determina prin hidroliză aminoacizii care le compun. Prima sinteză a unei polipeptide realizate prin asocierea unor aminoacizi, sau a unor zaharuri simple ori compuse, a fost încercată de Curtius în 1883; reuşitele lui Fischer şi Fourneau (1901), ca şi cele ale lui Maillard au inaugurat secolul al XX-lea. În 1901, F.H. Hopkins a pus în evidenţă triptofanul. În 1906 Willcock şi Hopkins au constatat că anumiţi aminoacizi sînt indispensabili[9] în alimentaţie. În 1921, Hopkins descoperă glutationul în drojdia de bere.

Chimia *cromoproteinelor porfirinice*, caracterizate prin nucleul lor pirolic, a fost lămurită de Fischer. Încununarea acestor cercetări a constituit-o producerea sintetică a protoporfirinei şi a combinaţiei sale cu fierul, cunoscută sub denumirea de hemină, precum şi realizarea sintezei hemoglobinei, de către Hill şi Holden. Citocromii *a*, *b*, *c* au fost descoperiţi de Keilin în 1925. Cercetările asupra clorofilei au dus la izolarea (Willstätter şi H. Fischer) şi apoi la sintetizarea ei de către R. Robinson (1926), în timp ce cercetările lui Willstätter se refereau la antocian (1913). În ceea ce priveşte carotenoizii, s-a putut realiza separarea lor prin cromatografie; de asemenea, s-a descoperit formula licopenului, a vitaminei A, a vitaminei E, s-a reuşit cristalizarea xantofilei şi crocetinei şi s-a sintetizat scvalena.

Cunoştinţele noastre asupra *nucleoproteinelor* încep în 1868: F. Miescher extrage nuclee ale celulelor din puroi şi izolează „nucleina"; apoi separă proteina din acidul organic (1874). A. Kossel continuă aceste cercetări (1882—97); se descoperă că la baza acidului nucleic stau acidul fosforic, o bază azotată şi un glucid; gruparea cea mai simplă a acestor unităţi o constituie nucleotidul. Dacă iniţial s-a putut crede, datorită lui Levene, că acizii nucleici sînt tetranucleotide, ulterior natura lor polinucleotidică a fost stabilită. Cînd glucidul este o riboză, avem de-a face cu acidul ribonucleic (ARN); cînd este o dezoxiriboză, avem de-a face cu acidul dezoxiribonucleic (ADN)[10]. Cel de-al doilea nu există decît în nucleul celulei, fiind constituentul cromatinei genetice (eucromatinei), localizată în cromozomi la nivelul genelor; el se manifestă *in situ* prin puterea sa reducătoare (reacţia lui Feulgen, 1924). Este considerat drept principalul răspunzător nu numai de continuitatea şi transmiterea vieţii, ci şi de menţinerea sa la scara celulară. Afirmaţia citologilor din secolul al XIX-lea că „nu există celulă fără nucleu" a fost înlocuită cu dogma biochimică: „nu există celulă fără ADN". ARN este prezent atît în nucleu, cît şi în citoplasmă, unde se manifestă prin bazofilia sa şi prin absorbţia radiaţiilor ultraviolete (Caspersson, 1949). Şi unul şi celălalt sînt vulnerabili la enzimele lor specifice (dezoxiribonucleaza şi ribonucleaza)[11]. Grupului nucleotidelor le aparţin şi adenozintrifosfatul (ATP), izolat în 1928 de Lohmann dintr-un ţesut muscular, flavinmononucleotidul (FMN), difosfopiridinnucleotidul (DPN), coenzima I, cozimaza[12], coenzima A, cobalamina (vitamina B_{12}), toate prezentînd o mare importanţă pentru metabolism.

---

[8] Dintre lipidele complexe mai fac parte grupele: fosfoinozitidele — care aparţin fosfogliceridelor, dar nu conţin azot —, cerebrozidele (glicolipide) — care conţin sfingozină (sau dihidrosfingozină), un acid gras superior şi un element glucidic, fără însă a conţine azot —, steroizii, care au la bază un policiclu, ciclopentanofenantrenul. — *V.E.*

[9] Aminoacizii esenţiali sînt: lizina, triptofanul, histidina, fenilalanina, leucina, izoleucina, treonina, valina, arginina, metionina. — *V.E.*

[10] În afară de ADN nuclear mai există în mitocondrii cloroplaste, kinetozomi, kinetoplaste ş.a. — *V.E.*

În materia vie se găseşte, de asemenea, apă, în mare cantitate şi în stări diferite: legată, liberă, interstiţială. Sărurile minerale nu sînt neglijabile nici chiar în cantităţi mici. Importanţa oligoelementelor a fost pusă în lumină de G. Bertrand (1903).

Cercetătorii nu se limitează la extragerea compuşilor chimici şi la inventarierea lor. Se încearcă detectarea poziţiei lor în celulă, determinată de reacţiile radicalilor lor caracteristici. Aceste cercetări formează obiectul histochimiei, care este o „topochimie".

ARHITECTURA COMPUŞILOR ORGANICI. Materia vie este caracterizată prin combinaţiile de substanţe chimice elementare pe care le conţine. Trebuie ţinut seama de existenţa izomerilor; viaţa se bazează pe „asimetria optică". Din punct de vedere didactic este comod să se considere:

1) *Arhitecturi simple:* majoritare (acizi alifatici şi în special acizi graşi; oze; aminoacizi) sau de utilizare curentă (steroli; substanţe heterociclice: pirol, pirimidină, purină etc.; carotenoizi inferiori);

2) *Moduri de asociere prin legături:* ozidice (diholozide; nucleozide); esterice (lipide de tipul gliceridelor; esteri fosforici; CoA; nucleotide; lipide complexe); peptidice (polipeptide).

3) *Molecule mari sau macromolecule:* polizaharide (celuloză, amidon, glicogen) şi heteropolizaharide (mucopolizaharide, heparină, acid condroitinsulfuric); nucleoproteine, metalproteine (hemoglobină, clorofilă); holoproteine.

Două categorii de substanţe sînt capabile să formeze macromolecule:

1) Glucidele, care sînt mari furnizori de energie celulară. Din punct de vedere chimic, textura lor este simplă, deoarece ea repetă prin polimerizare acelaşi motiv elementar;

2) Protidele, ale căror „cărămizi" speciale sînt aminoacizii, asociaţi în lanţuri lungi prin legături peptidice. Macromoleculele iau naştere prin polimerizarea a vreo 30 de

---

[11] Ochoa şi Kornberg au realizat sinteza biologică a acizilor nucleici (1959). Acidul ribonucleic se prezintă sub cel puţin trei forme diferite, după dimensiunile şi compoziţia moleculelor, după metabolismele şi funcţiile lor (Jacob şi Monod, 1961).

[12] Denumirea actuală este NAD (nicotinamiddinucleotid). „Cozimaza" a fost prima sa denumire, fiind un cofactor dializabil necesar fermentării glucidelor de către drojdie, denumită zimază. Ulterior, pînă la stabilirea structurii chimice, a fost numită „coenzimă I". După descifrarea acesteia a primit denumirea de „difosfopiridinnucleotid (DPN)", care mai poate fi întîlnită în cărţile mai vechi de biochimie. Tot aşa, derivatul fosforilat al NAD, NADP (NAD fosfat) a fost denumit la început „coenzima II" şi apoi „trifosfopiridinnucleotid (TPN)". — *V.E.*

aminoacizi[13] ale căror combinaţii permit să se obţină, teoretic, un număr fabulos de substanţe diferite (132 urmat de 30 de zerouri)[14].

Reţelele, fibrele protidice şi membranele sînt elementele fundamentale ale organizării materiei vii. O descoperire fundamentală a biologiei moderne o constituie concepţia că viaţa este structurată pînă la scara moleculară. Protoplasma este formată din macromolecule; dar ea nu are monopolul acestui gen de molecule.

Paralel cu mărirea moleculei se constată şi o modificare a proprietăţilor ei fizice. Astfel, cînd masa ei depăşeşte 10 000 unităţi, molecula aparţine unei soluţii coloidale. Greutatea moleculară a acestor macromolecule poate depăşi mai multe milioane. Observarea lor depăşeşte uneori puterea de separare a microscopului electronic, deşi acest instrument permite urmărirea metabolismului feritinei la nivelul măduvei osoase hematopoetice. Macromoleculele intră în categoria macropolimerilor, binecunoscuţi prin lucrările lui Staudinger (1920). Birefringenţa dispozitivelor lor fibrilare şi diagrama spectrului lor de difracţie a radiaţiilor X permit reconstituirea structurii lor. Proteinele au fost împărţite în fibrilare (ţesutul citoscheletului protoplasmei) şi globulare (hemoglobina); intertransformarea este posibilă, ca în cazul actinei care reprezintă suportul molecular al contracţiei muşchiului.

Configuraţia unora dintre aceste macromolecule este încă controversată; în ceea ce priveşte proteinele fibrilare, structura liniară susţinută de Wrinch a fost înlocuită prin concepţia elicoidală a lui Pauling (lanţ cu 7 legături). Pauling şi Corey (1953), J.D. Watson şi F.H.C. Crick (1953) au atribuit, de asemenea, o structură elicoidală acizilor nucleici: se consideră că aceştia sînt constituiţi din două lanţuri spiralate (în care alternează un glucid şi acidul fosforic), legate prin punţi (pe care se găsesc bazele azotate) (vezi fig. 31).

Această ipoteză — care le-a adus Premiul Nobel pentru medicină pe 1962 lui Watson şi Crick, ca şi lui M.K.F. Wilkins, ale cărui studii de analiză spectrală prin difracţia radiaţiilor X au jucat un rol important în această descoperire — a fost confirmată prin numeroase cercetări ulterioare. Crick, mai ales, a participat foarte activ la „descifrarea“ codului genetic prin intermediul căruia ADN joacă un rol fundamental în mecanismele vieţii şi ale eredităţii.

De subliniat că Macheboeuf a atras mai de mult atenţia asupra asociaţiilor lipido-protidice (coenzime). Noţiunea de legătură domină toate aceste probleme, permiţînd pătrunderea în intimitatea organizării materiei vii într-o măsură mult mai mare decît punctul de vedere coloidal care este astăzi depăşit. Organizarea macromoleculară, ultrastructurile vizibile la microscopul electronic, structurile microscopice care reprezintă „scări“ de mărimi progresiv crescătoare fac astfel legătura dintre chimie şi morfologie.

---

[13] Autorul înţelege prin această cifră cîţi aminoacizi *diferiţi* iau parte la alcătuirea proteinelor. Numărul posibil de combinaţii depinde însă de numărul de apariţii al fiecăruia în molecula proteinei respective. — *V.E.*

[14] La aceste două categorii trebuie adăugată o a treia, acizii nucleici. Aceştia sînt, de asemenea, macromolecule, cu un înalt grad de polimerizare şi cu o structură spaţială bine determinată. — *V.E.*

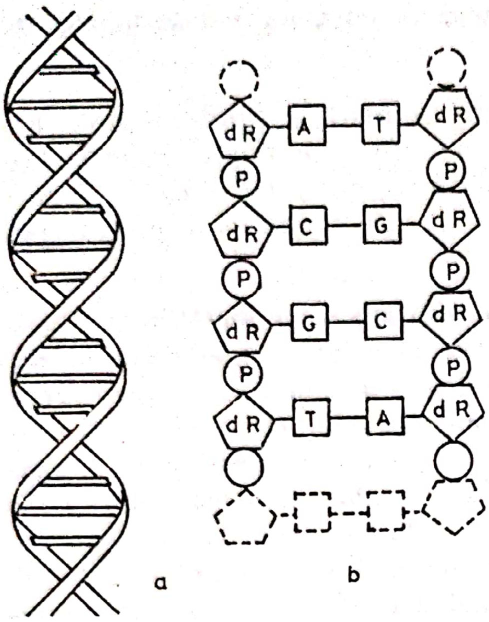


Fig. 31. SCHEMA MOLECULEI DE ADN (DUPĂ WATSON ŞI CRICK)

(*a*-schema de ansamblu: molecula este formată din două lanţuri paralele de nucleotizi înrulaţi în elice, legate prin bazele lor azotate; *b*-detaliu al lanţurilor desfăşurate: fiecare nucleotid este format dintr-o bază azotată (adenină: *A*; guanină: *G*; citozină: *C*; sau timină: *T*), legată la un zahar (dezoxiriboză: *dR*), el însuşi fixat la un grup fosforic (*P*), de asemenea, legat de dezoxiriboza nucleotidului următor. Structura ARN este analoagă, cu diferenţa că zaharul este riboza, iar timina este înlocuită prin uracil.

Anumite substanţe sînt înzestrate cu o specificitate care poate fi caracteristică unei specii sau unei grupe zoologice[15]. Moleculele de acid dezoxiribonucleic se deosebesc în special prin ordinea în care sînt dispuse bazele azotate[16], ale căror înşiruiri pot realiza, astfel, un număr extrem de mare de combinaţii. Mecanismul eredităţii poate fi schematizat prin transmiterea la copii a ADN-ului specific al părinţilor.

În 1866, Korber şi von Kruger au constatat că hemoglobina fătului este mai rezistentă la denaturarea alcalină decît cea a adulţilor. Astăzi, distingerea a nouă varietăţi, dintre care numai două sînt considerate normale, se bazează pe criterii precise. Prezenţa hemoglobinei anormale, caracter transmis ereditar, constituie un exemplu al acestor „boli moleculare“, care trebuie deosebită în patologie de „semiologia biochimică“ (o simplă consecinţă biochimică a unei boli)[17].

Un întreg ansamblu de splendide cercetări au dus la fundamentarea imunochimiei. Landsteiner şi elevii săi au dovedit importanţa diverselor substanţe neprotidice în fenomenele de imunitate. Anticorpii nu mai sînt „fiinţe cu raţiune“, ci globuline ale sîngelui, care pot fi extrase[18]. Anumite elemente chimice din organism sînt capabile, în doze mici, de o mare activitate: vitaminele, enzimele şi hormonii.

---

[15] Şi în regnul vegetal există substanţe cu specificitate de gen şi specie. — *V.E.*

[16] Această succesiune a monomerilor se numeşte „secvenţă“ şi determină caracterele macromoleculei, în cazul în care aceasta este formată din monomeri diferiţi. Secvenţa determină, deci, şi caracterele macromoleculelor proteice. — *V.E.*

[17] Vezi studiul lui R. Debré şi G. Desbuquois (pag. 859).

[18] În legătură cu acest subiect, a se vedea pag. 663—665.

FIZIOLOGIA CELULARĂ. Studiul fiziologiei celulare este abordat acum *in vitro*, ca şi în organism. Această ştiinţă încearcă să precizeze factorii care acţionează atît asupra funcţiilor, cît şi asupra structurilor. Agenţii dinamismului vital se descompun în procese fizice sau chimice. Sînt luate în considerare influenţa temperaturii, a luminii, a ultrasunetelor şi a curentului electric. Radiaţiile ionizante au dus la cele mai importante rezultate. Descoperirile lui Roentgen şi ale lui Curie au deschis calea radiobiologiei: iradierea modifică funcţionarea celulei, antrenează malformaţii embrionare şi uneori chiar mutaţii ereditare; ea determină adesea moartea elementelor atinse, efect utilizat la distrugerea ţesuturilor bolnave. Substanţele chimice modifică fenomenele de nutriţie, acţionează asupra înmulţirii, orientează mişcarea prin tropisme sau prin semnale-stimuli.

Principalele funcţii ale vieţii se reduc la fenomene fizice sau chimice. Permeabilitatea membranelor plasmatice este astăzi explorată cu ajutorul radioizotopilor artificiali. În explicarea acestor mecanisme, se face apel la osmoză, la dispunerea grupelor tensio-active situate la interfeţe, la organizarea unor straturi monomoleculare, ce oferă grupări orientate, şi la echilibrul lui Donnan[19]. În sfîrşit, arhitecturile macromoleculare ale peretelui includ pori ultramicroscopici, ale căror dimensiuni reprezintă măsura particulelor pe care le traversează. De asemenea, au loc şi intervenţii enzimatice.

Nutriţia determină nu numai elaborările paraplasmatice, ci şi însăşi transformarea protoplasmei. Rapiditatea înlocuirii componenţilor *(turn over)* a putut fi detectată datorită substanţelor marcate (experienţele lui Vichery, Pucher, Schoenheimer şi Tittenberg, 1940, la hrişcă alimentată cu o sare de amoniu care conţine azot-15).

ENZIMELE. Materia vie este sediul unei continue transformări a substanţelor chimice şi a energiei. Persistenţa formei nu exclude dinamismul reînnoirilor. În procesele metabolice, anumite substanţe acţionează intens. Acestea sînt *enzimele*, semnalate anterior sub denumirea de diastaze, şi ale căror număr, natură chimică şi importanţă au fost stabilite abia în secolul al XX-lea. Treptat, s-a observat că majoritatea reacţiilor biochimice sînt catalizate de enzime. Studiul lor, sau enzimologia, se bazează astăzi pe un material bine stabilit.

După controversele asupra semnificaţiei enzimelor, care i-au opus pe Pasteur şi Liebig, ultimii ani ai secolului al XIX-lea (E. Buchner, 1897; Bertrand, 1897; Croft-Hill, 1898) au lăsat să se întrevadă un avînt puternic al cunoştinţelor din acest domeniu. Într-adevăr, s-au realizat foarte rapid progrese în înţelegerea — dacă nu a mecanismului — cel puţin a naturii şi condiţiilor de acţiune a enzimelor (A. Harden şi W.J. Young, 1904—1908; Sørensen, 1909; L. Michaelis şi M.L. Menten, 1913), progrese care au dus în cele din urmă la lucrările fundamentale ale lui R. Willstätter (1928) şi la descoperirea lui J.B. Sumner (1926), care a izolat ureaza, obţinînd-o în stare cristalizată pornind de la făină de bob. Cîţiva ani mai tîrziu au fost preparate, sub formă cristalizată, pepsina (J.H. Northrup, 1930), tripsina (Northrup şi M. Künitz, 1931), ribonucleaza (Künitz, 1939), peroxidaza (A.H. Theorell, 1940), hexokinaza (Berger, Künitz şi McDonald, 1946) etc. Numărul enzimelor izolate şi, astfel, preparate se ridică astăzi la peste 80.

---

[19] Astăzi se ştie că permeabilitatea membranelor biologice este, în esenţă, un fenomen activ, care necesită energie şi în care enzimele joacă un rol foarte important. Proprietăţile fizice ale membranelor, fără a fi neglijabile, joacă un rol secundar în fenomenul de permeabilitate. — *V.E.*

H. von Euler a arătat (1910) că enzima, substanţă cu compoziţie complexă, are o acţiune specifică asupra unei substanţe definite chimic şi adesea stereochimic, denumită substrat; doi izomeri vor fi deci supuşi la doi agenţi diferiţi. Această acţiune este reversibilă (Croft-Hill, 1898; Bourquelot şi Bridel, 1912). Prin specificitatea sa îngustă, o enzimă nu intervine, cel mai adesea, decît asupra unei etape a unei reacţii, iar rezultatul final se obţine prin acţiunea unei serii întregi de enzime care acţionează succesiv şi formează un adevărat lanţ enzimatic[20]. Foarte numeroase în celulă, enzimele imprimă reacţiilor o mare rapiditate şi precizie, reapărînd în final fără a fi alterate. Acţiunea catalitică este supusă condiţiilor de temperatură şi de *p*H; unii activatori sau inhibitori le pot influenţa (L. Michaelis, 1913). Histoenzimologia îşi propune localizarea enzimelor în celule (detectarea fosfatazei alcaline de către Gomori, 1931; etc.).

Enzimele sînt clasificate după natura chimică a intervenţiei lor. Această clasificare a fost perfecţionată progresiv; cea mai recentă conţine cinci grupe:

1) Hidrolazele, care descompun o moleculă în două fragmente prin introducerea apei: esteraze, glucozidaze, amidaze, peptidaze;

2) Transferazele, capabile să transfere diverse grupări: transmetilaze, transfosfataze, transaminaze;

3) Oxidoreductazele, care asigură dehidrogenările şi activarea oxigenului;

4) Liazele şi sintetazele, care elimină sau adaugă apă, fără a descompune molecula;

5) Izomerazele şi racemazele, care provoacă în molecule izomerizări şi racemizări.

Diverse lucrări, şi mai ales cele efectuate de Sumner prin utilizarea ultracentrifugării şi electroforezei, dovedesc că enzimele sînt de natură proteică; ele se definesc prin labilitatea lor la căldură, prin sensibilitatea lor la *p*H (Sørensen) şi prin natura lor coloidală. În realitate, nu toate enzimele sînt proteine pure. În enzimele-heteroproteine, proteina (apoenzima) este puternic legată de un grup activ cu masă moleculară mai mică, numit grup prostetic.

Schematic, gruparea prostetică poate fi numită coenzimă, ţinînd totuşi seama de faptul că coenzima poate sau nu să fie legată de apoenzimă, dar că una este complementară celeilalte în acţiunea enzimatică (teoria dualistă a lui Bertrand şi a lui Harden și Young). Warburg a arătat rolul activ datorat prezenței unui metal greu. În sens larg, coenzima poate fi un atom de metal atașat mai puternic sau mai labil de partea proteică.

---

[20] Un grup de enzime ce acţionează într-o succesiune bine stabilită — în care produsul unei reacţii catalizate de una dintre enzime este reactant în reacţia următoare catalizată de altă enzimă ş.a.m.d. — alcătuieşte un „sistem polienzimatic" (de exemplu, sistemul citocromoxidazic, al ciclului Krebs ş.a.). Acesta nu poate funcţiona decît într-un sistem structural organizat, localizat, de multe ori, în anumite membrane biologice (de exemplu, sistemul ciclului respirator mitocondrial). S-a reuşit reconstituirea *in vitro* a unor asemenea sisteme. — *V.E.*

O descoperire capitală a constituit-o identificarea anumitor vitamine din grupul B drept elemente active ale coenzimelor; aceste vitamine nu pot fi sintetizate de organismele animale și de aceea importanța sintetizării lor în plante este evidentă. Tot datorită rolului lor enzimatic a putut fi demonstrată și semnificația anumitor metale (fier, cupru, zinc, mangan, magneziu, cobalt), cunoscute ca oligoelemente indispensabile nutriției.

În 1904, biochimiștii englezi A. Harden și Young au arătat că zimaza, o enzimă eterogenă extrasă din drojdii de către E. Buchner (1897), se compune din două fracțiuni, una termolabilă și coloidală, proteina, iar cealaltă termostabilă și difuzibilă în apă, coenzima.

Cercetările ulterioare au dovedit că zimaza conține, de fapt, o întreagă serie de enzime și coenzime. Prima coenzimă din acest ansamblu (coenzima I, difosfopiridinnucleotidul sau DPN) a fost descoperită de Warburg și von Euler; acesta din urmă i-a stabilit și formula (1939), confirmată ulterior prin sintetizarea ei (A. Todd, 1956). Tot Warburg a descoperit și coenzima II, trifosfopiridinnucleotid sau TPN (1931—39). Fiind coenzime de oxidoreducere, DPN și TPN au proprietatea de a fi alternativ reduse și oxidate[21].

Coenzima de acetilare sau CoA, descoperită și descrisă de F. Lipmann (1945—52), are proprietatea de a fi alternativ acetilată și dezacetilată. Prezentă în plantele superioare (R. Seifter, 1954), ea se dovedește a fi una dintre componentele esențiale ale metabolismelor glucidic, lipidic și protidic, intervenind mai ales în cursul respirației, în biosinteza acidului citric (S. Ochoa, 1951).

Enzima galbenă[22] a fost izolată în 1932 de Warburg și Christian. Grupa sa prostetică este riboflavina, adică esterul fosforic al vitaminei B_2 (R. Kuhn și colab., 1935). Se cunosc numeroase flavoproteine care au o riboflavină în grupa lor prostetică; unele dintre ele intervin în cursul respirației.

Coenzimă a carboxilazei (Neuberg și Karczag, 1911), și ester pirofosforic al vitaminei B_1, cocarboxilaza sau DPT-ul (difosfotiamina) au fost obținute sub formă cristalizată de K. Lohmann și P. Schuster în 1937. Ea fusese izolată din drojdii de către Anhagen (1932), care a arătat rolul acesteia în decarboxilarea acidului piruvic în acetaldehidă, care constituie etapa esențială a fermentării alcoolice a drojdiilor și a anumitor vegetale. Ea intervine și în mai multe reacții enzimatice legate de respirație.

Toate coenzimele care compun zimaza inițială conțin o vitamină din grupul B și sînt comune atît în regnul vegetal, cît și în cel animal. Studiul degradării glucidelor — și în special al fermentării alcoolice —, precum și al proceselor de oxidoreducere au pus în evidenţă complexitatea şi importanţa activităţilor enzimatice[23].

---

[21] Asemenea sisteme se caracterizează printr-un anumit potențial de oxidoreducere (redox). — *V.E.*

[22] Aceste denumiri nu se mai folosesc. Fermentul respirator galben al lui Warburg și Christian este o dehidrogenază care are ca grupare activă FAD (flavinadenindinucleotidul). — *V.E.*

Enzimele proteolitice intervin în digestia gastrointestinală a albuminoidelor[24]. S-a putut stabili specializarea îngustă a acestor agenţi de degradare moleculară a proteinelor în polipeptide şi apoi a polipeptidelor în aminoacizi. Este necesar ca proenzimele, produse mai ales de celulele pancreatice, să fie transformate mai întîi în enzime active pentru a putea interveni.

Unele enzime sînt secretate; în acest caz, ele acţionează asupra unor substanţe extracelulare; altele sînt arhitecţii metabolismului proteic şi nu ies din celulă: se ştie actualmente că condriomul conţine toate enzimele necesare respiraţiei celulare.

Enzimologia protistelor şi microbilor oferă informaţii preţioase. Mutaţia microorganismelor este însoţită, în general, de lipsa unei enzime definite; toate metabolismele se efectuează normal, cu excepţia celui pentru care o anumită substanţă nu se poate produce datorită lipsei unei enzime transformatoare. Pe de altă parte, s-a constatat că complexitatea progresivă a fiinţelor din seria animală pare a fi legată de pierderea unor enzime (Lwoff, 1944): evoluţia ar fi deci o regresiune biochimică.

METABOLISMUL. Pentru a trăi, celulele vegetale şi animale folosesc aceleaşi categorii de molecule organice: aminoacizi, oze şi acizi graşi, pe care M. Florkin le-a numit alimente celulare. În celula vegetală, alimentele celulare sînt furnizate datorită activităţii enzimelor hidrolizante care atacă protidele, glucidele şi lipidele provenite din sinteza clorofiliană. Animalele se hrănesc pe seama vegetalelor sau animalelor, de la care iau protidele, glucidele şi grăsimile, descompuse ulterior în alimente celulare de către enzimele digestive. Acestea prezintă o remarcabilă uniformitate în întreg regnul animal. Alimentele celulare cele mai importante cantitativ — glucidele, acizii graşi, aminoacizii — furnizează celulei atît energia necesară funcţionării sale, cît şi substanţele indispensabile elaborării materiei vii, şi întreţinerii sale.

Ansamblul fenomenelor implicate în aceste procese constituie metabolismul celulei. Se cunosc produşii finali ai acestuia: apa, CO_2, ureea. Viaţa necesită o serie de oxidări; dar pentru a ajunge la produsele finale, substanţele chimice oferite trebuie să parcurgă o serie lungă de transformări: acest metabolism intermediar constă într-un şir de operaţii rapide care se efectuează la temperatura corpului, cu concursul enzimelor ce joacă rolul de catalizatori. În cunoaşterea metabolismului s-au realizat progrese considerabile, datorită folosirii unor tehnici noi. S-a studiat metabolismul celulei în afara organismului cu ajutorul aparatului lui Warburg[25]; a fost oprită succesiunea reacţiilor chimice a anumitor etape pentru a determina mai uşor substanţele intermediare; s-au separat, prin cromatografie, diversele substanțe ce urmau să fie studiate, fiind astfel dozate chimic în cantități foarte mici; prin utilizarea radioizotopilor[26] s-au urmărit deplasările atomilor de la o moleculă la alta.

---

[23] Vezi şi studiul lui J. F. Leroy (pag. 760—768).

[24] Astăzi acest termen este abandonat în favoarea celui de „substanţe proteice" sau, mai scurt, „proteine". — *V.E.*

[25] Vezi şi studiul lui J. F. Leroy (pag. 761—762).

Energia chimică furnizată de alimentele celulare este înmagazinată în compuși care o eliberează prin disociere (legături mai mult sau mai puțin bogate[27]; Lipmann, 1941). Energia astfel fragmentată este folosită sub formele cele mai diverse: mecanică, chimică, electrică etc.

Studiind respirația *in vitro* a unor secțiuni subțiri de diverse țesuturi prin metoda lui Warburg s-a putut aprecia intensitatea metabolismului acestor țesuturi, precum și variațiile sale. Reacțiile de oxidare, prin care se eliberează energie, pot avea loc fie în prezența oxigenului, fie în absența lui. Se deosebesc celule aerobe și celule anaerobe, cele din urmă luînd energia care le este necesară prin procesul de fermentație. După Pasteur, cercetările au continuat pentru a lămuri acest fenomen. Astăzi se știe că o celulă — chiar la organismele evoluate — poate fi[28] în același timp sediul unor reacții de aerobioză și de anaerobioză. Oricare ar fi tipul de catabolism, respirator sau fermentativ, oxidarea pe care o suferă elementele celulare are loc prin pierderi de hidrogen.

Dehidrogenarea are loc cu ajutorul enzimelor descoperite de T. Thunberg în 1917, dehidraze sau dehidrogenaze, precum și în prezența unui acceptor de hidrogen. În cursul acestor transformări intervin numeroși factori: fermentul roșu respirator al lui Warburg (1924), fermentul galben, citocromii lui Keilin (1925), ultimii fiind transportori de ioni[29], datorită fierului pe care îl conțin[30].

Produsele finale ale arderii respiratorii[31] a glucidelor sînt CO_2 și H_2O. Bioxidul de carbon provine din decarboxilarea acizilor organici prin acțiune diastazică; astfel, carboxilaza lui Neuberg acționează asupra acidului piruvic eliberînd CO_2 și formînd aldehidă acetică. Apa ia naștere prin fixarea hidrogenului, activat de dehidraze, pe oxigenul activat de fermentul roșu respirator. Nu sînt cunoscute încă toate amănuntele acestor reacţii metabolice[32]; dar se pun în evidenţă din ce în ce mai bine amănuntele acestor numeroase procese fizico-chimice.

---

[26] La acestea s-au adăugat ulterior și altele, de o deosebită eficacitate și sensibilitate, ca: cromatografia în fază gazoasă, cromatografia de afinitate, electroforeza pe hîrtie, în diferite geluri (unde efectul de cîmp electric se combină cu cel de sită moleculară), spectrofluorimetria, ultracentrifugarea, tehnici imunologice ș.a. — *V.E.*

[27] Compușii chimici a căror energie de hidroliză (nu de disociere) este foarte mare (de ordinul a 10 kcal/mol) sînt denumiți „macroergici". Nu este corect să se vorbească de „legături macroergice", întrucît edificiul molecular în totalitatea sa conferă calitatea de a avea o mare energie de hidroliză (bineînțeles, la nivelul unei anume legături chimice). — *V.E.*

[28] Mecanismul anaerob de extragere a energiei din compușii chimici alimentari este comun atît celulelor anaerobe, cît și celor aerobe. Deosebirea dintre aceste două tipuri de celule constă în aceea că cele aerobe pot desăvîrși procesul de extragere a energiei în prezența oxigenului, mărind considerabil eficiența acestui proces. — *V.E.*

[29] Este vorba de transport de electroni, nu de ioni. — *V.E.*

[30] Pentru mai multe amănunte asupra oxidărilor biologice, vezi studiul lui J. F. Leroy (pag. 761—768).

[31] Termen învechit folosit pentru a ilustra oxidările biologice ce se petrec în cursul respirației aerobe. — *V.E.*

Aminoacizii şi acizii graşi pot, de asemenea, suferi în celulă procese de degradare oxidativă, însoţite de eliberare de energie. Acizii graşi sînt oxidaţi la nivelul atomului de carbon care ocupă în moleculă poziţia β (β-oxidare, Knoop, 1906); după o serie de transformări se formează acid acetic care se descompune[33] apoi în CO_2 şi H_2O.

Aminoacizii suferă o dezaminare oxidativă. Ei se scindează. Gruparea aminică NH_3 este eliberată sub formă de amoniac, care poate duce apoi la uree. Restul este oxidat pe diverse căi în CO_2 şi H_2O. Aceste diferite transformări se efectuează datorită unei serii de diastaze, de acceptori de hidrogen şi de transportori de electroni.

Lucrările a numeroşi cercetători, mai ales ale lui Szent-Györgyi, Hans Krebs, C. şi G. Cori, au arătat că direcţiile metabolice de oxidare ale celor trei alimente principale[34] converg spre un mecanism comun, ciclul tricarboxilic al lui Krebs. H. Krebs, care şi-a efectuat primele cercetări în 1937, consideră că ciclul tricarboxilic este un instrument în procesele de extragere a energiilor chimice alimentare şi de stocare a lor în moleculele de ATP.

Acest ciclu (fig. 32) reprezintă seria de oxidări cu deplasarea în mai multe etape: acid citric, acid cis-aconitic, acid izocitric, acid α-cetoglutaric, acid succinic, acid fumaric, acid malic, acid oxalacetic. Primii trei termeni posedă 3 COOH (tricarboxil). În acest ciclu se consumă derivaţi ai celor trei grupe de compuşi chimici celulari.

Acetilcoenzima A poate intra în ciclu prin intermediul acidului citric, care poate proveni din trei grupe de alimente organice. Toate aceste transformări sînt catalizate prin enzime cu acţiune reversibilă[35]. Glucidele provin din acidul piruvic: prin fermentare anaerobă, acesta duce la acid lactic sau la alcool; în condiţii aerobe, el duce la ciclul lui Krebs. În cele din urmă, toate aceste degradări duc la o răspîntie comună: „pool"[36] sau răspîntia metabolică. Acidul piruvic reprezintă „placa turnantă". Importanţa acetil-coenzimei A completează această noţiune mai mult decît o modifică.

---

[32] Procesul de respiraţie celulară se cunoaşte astăzi în detaliu. Toate enzimele care-l alcătuiesc au fost izolate şi purificate, se cunoaşte locul în care ele acţionează, dispoziţia lor spaţială, inhibitorii specifici etc. S-au făcut încercări reuşite de reconstituire *in vitro* a sistemului multienzimatic respirator. — *V.E.*

[33] În legătură cu acest subiect, vezi studiul lui A. Ihde (pag. 448—449) şi al lui R. Debré şi G. Desbuquois (pag. 866).

[34] Este vorba de cele trei grupe principale de compuşi chimici ai organismelor vii: glucidele, lipidele, protidele. — *V.E.*

[35] Nu toate reacţiile enzimatice sînt reversibile, în special cînd este vorba de un ciclu. De pildă, în cazul ciclului Krebs, formarea acidului citric din acid oxalacetic şi acetil-CoA, ca şi transformarea acidului α-cetoglutaric în acid succinic nu sînt reacţii reversibile. — *V.E.*

[36] Noţiunea de *pool* metabolic nu se identifică cu cea de „răspîntie metabolică". *Pool* înseamnă rezerva de compuşi liberi care vor alimenta diferitele procese metabolice (de exemplu, „pool"-ul de aminoacizi, adică rezerva celulară de aminoacizi liberi care va alimenta proteosinteza sau alte procese care necesită aminoacizi liberi). — *V.E.*

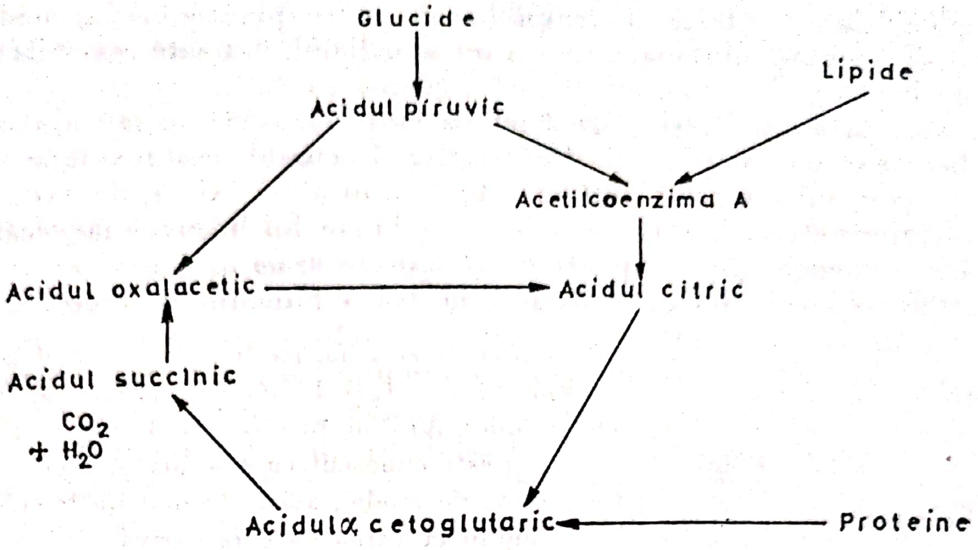


FIG. 32. CICLUL LUI KREBS

În celulă, energia chimică adusă de alimente se transformă în alte forme de energie care permit efectuarea lucrului mecanic al mușchilor, acțiunea osmotică în timpul secrețiilor, reacțiile chimice în cursul sintezelor organice, acțiunile electrice în sistemul nervos etc. Dar pentru a suferi astfel de transformări, energia chimică a alimentelor trebuie transformată în forma specifică a energiei (Warburg, 1913; Bensley și Hoerr, 1934) legăturii fosfatice din ATP.

„Oxidarea fosforilantă, afirmă Krebs, adică transformarea fosfatului mineral în fosfați organici în cursul respirației celulare, este o etapă importantă a transformărilor energiei materiei vii".

Fosfatul organic fundamental, ATP[37], se formează în toate cazurile, fiind asociat cu oxidările. Există raporturi cantitative strînse între oxidări și fosforilare[38]. Măsurarea lor este dificilă, deoarece în țesuturile vii ATP-ul se consumă pe măsură ce este sintetizat. S-a reușit totuși evaluarea raportului dintre oxidare și fosforilare în cursul oxidării diverselor substanțe intermediare care participă la metabolismul celular.

ANABOLISMUL. Laboratorul celular este sediul unei fizico-chimii complicate, necesară descompunerii alimentelor din care se extrage energia prin oxidarea lor. Dar celula folosește o parte din aceste alimente pentru a realiza sinteze citoplasmatice. Sintezele clorofiliene dovedesc că în reacțiile care duc la formarea glucidelor, lipidelor şi protidelor de către planta verde, acidul fosfogliceric, acidul piruvic etc. joacă un rol intermediar[39], datorită reversibilităţii proceselor enzimatice.

---

[37] ATP poate fi socotit ca fosfat anorganic fundamental numai din punct de vedere energetic, nu și plastic. — *V.E.*

[38] Acest raport dintre numărul de atomi de fosfor anorganic esterificați ca ATP și cel de oxigen consumați, P/O, reprezintă „indicele de fosforilare oxidativă". Valoarea sa variază, în general, în jurul lui 3, depinzînd de substratul oxidărilor și de alte condiții. — *V.E.*

Celula animală îşi asigură chemosintezele necesare cu ajutorul energiei eliberate prin oxidările sale degradative. În cursul acestor sinteze se poate observa trecerea substanţelor dintr-o categorie în alta: există, de exemplu, aminoacizi glicoformatori: alanina poate duce la acidul piruvic iar acesta, la glucoză. De asemenea, glucoza poate duce la acizii graşi.

Sinteza proteinelor a făcut obiectul a numeroase cercetări.

Celulele care produc aceste substanţe sînt bogate în acid ribonucleic sau ARN (lucrările citochimice ale lui Caspersson, 1936—41, şi J. Brachet, 1940—50). Sinteza legăturilor protidice are un caracter endergonic: ATP-ul furnizat de mitocondrii produce energia indispensabilă. Rolul ARN-ului nu este cunoscut cu exactitate; acest acid, concentrat în microzomii citoplasmei, pare a servi de model, adică de matriţă[40]; celula animală poate produce anumiţi aminoacizi pornind de la cetoacizi care derivă din catabolismul glucidelor şi al acizilor graşi. Dar organismul este incapabil să producă alţi aminoacizi ciclici, ca triptofanul, lizina, histidina, arginina, extraşi din alimentele vegetale, care satisfac necesităţile calitative de azot.

Sintezele realizate de celulele animale heterotrofe nu sînt, deci, decît parţiale. Ele se efectuează pornind de la produse organice absorbite, sau pe baza resturilor provenite de la catabolismele lor. Există unele informaţii asupra formării unor structuri simple: glucoză, acizi graşi, steroli, aminoacizi; drumul urmat este invers decît cel de la descompunerea lor[41]. Asocierea prin legături a acestor elemente fundamentale duce la zaharuri compuse, la polipeptide şi la grăsimi neutre. În ceea ce priveşte macromoleculele, construcţia lor arhitecturală necesită o matriţă adecvată : în celulă, sintezele proteice pun în joc acizi nucleici şi ATP[42]. Toate aceste căi metabolice fie că duc la descompuneri, fie la producerea de noi elemente. Orientarea lor se efectuează prin „macazuri" a căror importanţă asupra reglărilor este uşor de imaginat.

ACŢIUNILE FIZICE. Mişcarea celulară implică variaţii de tensiune superficială şi de viscozitate. Influenţa agenţilor fizici şi chimici asupra orientării scoate în evidenţă problema tropismelor şi a comportării fiinţei vii.

Anumite celule manifestă în funcţionarea lor alte acţiuni fizice. Producerea de curent electric în nervi şi în muşchi în activitate era bine cunoscută. Un progres tehnic esenţial realizat în secolul al XX-lea, şi anume amplificarea acestor curenţi cu ajutorul tuburilor triode şi analizarea lor cu oscilograful catodic, a permis înregistrarea curentului furnizat de o singură celulă nervoasă. Secolul al XIX-lea studiase impulsul unic ce provenea din excitarea artificială a nervului. Astăzi s-a descoperit că în condiții fiziologice aceste impulsuri se succed, formînd „trenuri de undă". În sfîrșit, și înregistrarea undelor cerebrale spontane este utilizată în mod curent la om[43].

---

[39] În legătură cu acest subiect, vezi studiul lui J. F. Leroy (pag. 768—777).

[40] Astăzi se cunoaşte rolul diferitelor specii de ARN în sinteza proteică. Vezi cap. „Genetica umană". — *V.E.*

[41] Deşi multe reacţii sînt reversibile, există şi unele ireversibile care fac ca, în multe cazuri (acizi graşi superiori, aminoacizi ş.a.), procesele de sinteză să nu fie pur şi simplu inversul proceselor corespunzătoare de degradare. — *V.E.*

[42] În afară de aceşti compuşi esenţiali mai este necesară prezenţa aminoacizilor liberi, a factorilor de activare, a unor trifosfaţi speciali, a unor cationi ş.a. — *V.E.*

MOARTEA CELULARĂ. Spectrul de neînlăturat al morții, care pîndește orice element viu, a fost de asemenea analizat. Oprirea temporară a funcțiilor vitale poate fi obținută prin răcire însoțită de uscare, în timp ce încălzirea duce la reluarea activității. În organismul adult al unei viețuitoare cu o organizare superioară au loc, fără încetare, numeroase descompuneri parțiale urmate de înlocuiri ale elementelor degradate. Chiar după oprirea inimii, reanimarea la om și la mamifere s-a dovedit posibilă. După concepția weismannistă a unei descendențe germinale distincte de soma trecătoare, germenul este considerat ca fiind înzestrat cu o nemurire potențială. Dar celulele somatice se multiplică ele însele indefinit *in vitro*, ca și protistele în condiții favorabile. Metoda de cultură a țesuturilor emisă de Carell a pus în evidență existența unui element de tinerețe la făt; dispariția sa ar constitui cauza îmbătrînirii celulare[44]. Cercetările recente încearcă să-i detecteze compoziția chimică precisă.

B. CULTURA ȚESUTURILOR

Cultura țesuturilor, adică creșterea și multiplicarea *in vitro* a celulelor extrase dintr-un organism, este o realizare exclusivă a secolului al XX-lea; ea s-a bazat pe cultura bacteriană care i-a permis lui Pasteur să demonstreze absența generației spontanee.

În 1903, J. Jolly a reușit să conserve globule roșii de triton în mediu lichid și să observe mișcarea și diviziunea lor. R. G. Harrison (1907) a introdus celule nervoase embrionare de broască în limfa coagulată și a observat diferențierea neuroblastelor în celule nervoase adulte cu prelungirile lor. M. T. Burrows a cultivat celule de embrion de găină în plasma sanguină.

După 1910, A. Carell, adesea în colaborare cu Burrows, și-a perfecționat propria sa metodă; descoperirea decisivă (1912) a constat în adăugarea la mediul utilizat a unor extracte embrionare (trefone) care favorizează în mod spectacular creșterea celulelor.

---

[43] Vezi și studiul lui R. Debré și G. Desbuquois (pag. 830—832).

[44] Astăzi se știe că la baza evoluției ontogenetice stau nu anumite elemente speciale, ci procese metabolice al căror specific se modifică odată cu vîrsta. Succesiunea strictă a acestora, apariția și dispariția anumitor compuși sau procese metabolice sînt determinate de informația genetică conținută în aparatul cromozomial și de echilibrul represie-derepresie al diferitelor gene structurale, prin intermediul altor gene (modelul Jacob-Monod). — *V.E.*

Astfel, au fost realizate condiţiile fundamentale necesare: un suport solid care se scaldă într-un mediu lichid, un mediu nutritiv şi o temperatură convenabilă, libertate pentru schimburile gazoase şi pentru eliminarea deşeurilor şi asepsie, care să prevină orice infectare microbiană a sucurilor embrionare. Printre perfecţionările de amănunt vom cita „cultura în tub rotitor“ (Gey, 1933).

După 1945, antibioticele au eliberat pe aceşti cercetători de preocupările unei asepsii riguroase; suportul fibrilar a fost înlocuit prin materii plastice în lame subţiri; se folosesc, de asemenea, medii sintetice foarte complexe. Cultura ţesuturilor a devenit într-o măsură tot mai mare un preţios mijloc de cercetare pentru cercetătorul histolog, embriolog şi patolog.

Repicînd între 1912 şi 1939 o tulpină de fibroblaste de găină, Carell a dovedit că celulele izolate de organism sînt potenţial nemuritoare. Dar proliferarea astronomică manifestată de o categorie de elemente selecţionate (cultură pură) este frînată brutal la punerea în contact cu un alt grup de ţesuturi (cultură mixtă). Factorii care guvernează diferenţierea, în cursul embriogenezei sau la adult, sînt analizaţi în condiţii experimentale ideale: acţiunea inductoare a buzei blastoporale gastruleene, demonstrată *in vitro* de Holtfreter care a reprodus în cultură descoperirea fundamentală a lui Spemann (vezi pag. 631), diferenţierea „spontană“ a miocardului şi a femurului, potenţialităţile celulelor sanguine (Maximow şi Bloom), toate aceste realizări au fost acumulate între 1925 şi 1937.

Permiţînd obţinerea unui strat subţire de celule, observabil în stare vie la microscopul cu contrast de fază, cultura ţesuturilor a favorizat studiul factorilor necesari nutriţiei, al influenţei radiaţiilor şi al acţiunii agenţilor antimitotici, numărarea cromozomilor în celulele de om etc.

Să evidenţiem cîteva aporturi din patologie: determinarea malignităţii celulare, observarea fuziunii histiocitelor într-o „celulă uriaşă tuberculoasă“ atunci cînd se adaugă bacilii Koch (Maximow) etc. În sfîrşit, această metodă permite cultura în celule a unor virusuri, paraziţi obligatorii, în diverse scopuri: izolarea şi conservarea unor tulpini virale, atenuarea unor virusuri în vederea vaccinării, analiza metabolismului viral etc.

Trebuie, de asemenea, menţionate culturile de organe, al căror precursor a fost H.B. Fell. Această metodă s-a dezvoltat după 1951, mai ales în laboratorul lui E. Wolff. „Ea permite, afirmă acesta, supravieţuirea şi dezvoltarea unor ansambluri coerente şi exclude proliferarea necoordonată a ţesuturilor“. Au putut fi constatate afinităţi între celulele unor organe diferite ori de specii diferite (testicule de şoareci şi de păsări etc.) sau de organe diferite de la specii diferite. Au fost realizate asocieri între tumori de mamifere şi organe embrionare de păsări (găină), între tulpini canceroase umane şi mezonefre de păsări. Spre deosebire de informaţiile furnizate de grefe (vezi pag. 666—667), culturile de organe au evidenţiat absenţa antigenicităţii.

C. TRANSMITEREA VIEŢII

Fenomenul autoreproducerii apare ca un caracter esenţial al vieţii, fiind în acelaşi timp cea mai mare taină a sa, care o distinge în mod clar de materia nevie. Acest fenomen a fost comparat cu un proces de copiere care reproduce exact modelul iniţial.

MITOZA. În secolul al XX-lea, durata etapelor multiplicării celulare, numită mitoză, a putut fi precizată la celulele vii. Mai ales după utilizarea microscopului cu contrast de fază s-a reuşit să se urmărească cu uşurinţă imaginile derulării acestui proces; s-a observat în acelaşi timp existenţa, în cursul procesului, a unor mişcări rapide şi a unor schimburi de bule amiboide. Microscopul electronic a fost în acest caz foarte util.

S-a încercat să se clasifice la protiste modalităţile specifice de diviziune observate la microscopul optic. Din punctul de vedere al mecanismelor intime, intervenţia centromerilor, elemente de ataşare ale cromozomilor de fus, a fost considerată ca putînd explica cinetica deplasărilor cromozomice.

Multiplicarea celulelor este condiţionată de anumiţi factori fizici şi chimici.

Radiaţiile X şi radiul acţionează puternic asupra celulelor în cursul diviziunii: acestui fapt i se datorează utilizarea lor în terapeutica proliferărilor canceroase. Au fost puse în evidenţă radiaţii mitogenetice, de natură misterioasă; fiind emanate de celule în cursul mitozei, ele induc la distanţă alte mitoze.

Experienţele lui Carell au pus în evidenţă inducerea proliferărilor de către extrasele embrionare. S-a descoperit necesitatea unor aminoacizi pe care organismul nu-i poate sintetiza, cum este triptofanul. Unii hormoni, numiţi mitogeni, acţionează asupra dezvoltării generale a organismului: somatofina, tiroxina etc.; alţii intervin asupra unor receptori specifici: estrogenul ovarului. Pe baza cercetărilor lui Yamagiwa şi Ichikawa (1917), au fost preparate substanţe cancerigene, dintre care cele mai principale sînt carburi policiclice. Agenţii mito-inhibitori au constituit, de asemenea, obiect de cercetare: tripaflavina (Hertwig, 1913; Dustin, 1934); coloranţii bazici (Politzer, 1924—34); arsenicul (Ludford, 1936); colchicina (Lits, 1933; Dustin, 1934); „antimetaboliţii" (Martin, 1951; Roblin, 1954) etc. Unii intervin asupra fusului pe care îl blochează în metafază, alţii acţionează asupra cromozomilor determinînd separarea lor defectuoasă sau fragmentarea lor; în sfîrşit, alţii împiedică citodiereza. Rezultă clar însemnătatea acestei direcţii de cercetare în încercarea de a descoperi un tratament medical al tumorilor în patologia umană.

Diversele categorii de mitoze sînt condiţionate de diferiţi factori, în funcţie de felul multiplicărilor: de segmentare, de creştere, de cicatrizare a ţesuturilor cu reînnoire continuă (la adult), în sfîrşit, de proliferări neoplastice.

Trebuie luaţi în considerare mai mulţi componenţi ai proceselor de diviziune celulară: asimilarea materialelor, anabolismul sintetizator al protoplasmei specifice care este o problemă metabolică; autoduplicarea organitelor celulare; transmiterea către celulele-fiice a unui patrimoniu inalienabil.

AUTOREPRODUCEREA ORGANITELOR CELULARE. Capacitatea de reduplicare este caracteristica fundamentală a vieţii; continuitatea genetică se manifestă la scara celulei. Centrozomii şi cromozomii sînt componenţii celulari a căror continuitate genetică nu mai poate fi pusă la îndoială.

Cunoştinţele noastre asupra naturii centrozomilor sînt încă foarte insuficiente.

Nu ştim decît puţine lucruri referitor la compoziţia lor chimică. Deoarece ribonucleaza blochează mitoza provocînd anomalii ale aparatului acromatic, se poate trage concluzia că ARN-ul centrozomului joacă un rol în duplicarea sa.

Aparatul mitotic, format din asteri şi din fus, este în general mai bazofil decît restul citoplasmei. El a putut fi izolat în mare cantitate, detectîndu-se în el prezenţa ARN-ului şi a proteinelor globulare, ale căror molecule se unesc prin legături în care intervine sulful. Rapkin (1931) a admis faptul că asterii şi fusul ar rezulta din descompunerea reversibilă a unei proteine sub influenţa unor grupări sulfhidril. Colchicina împiedică formarea fibrelor care constituie fusul mitotic.

Cromozomii nu sînt indispensabili în ciclul mitotic al aparatului acromatic. Ei constituie suportul patrimoniului individual pe care îl transmit urmaşilor lor prin fenomenul de autoreproducere. Acumularea datelor citologice experimentale şi biochimice a reuşit să-i confere ADN-ului un loc important în ierarhia valorilor vitale.

D. FORMELE INFRACELULARE ALE VIEŢII

1. Microbii

Secolul al XIX-lea a permis cunoaşterea unei lumi microbiene cu formele sale microscopice individuale, capabile să furnizeze culturi *in vitro*, care să efectueze o activitate metabolică ce duce la fermentaţii; aceştia sînt agenţi ai numeroase boli contagioase.

În secolul al XX-lea, inventarierea bacteriilor a fost completată prin descoperirea unor microbi patogeni, ca treponema sifilisului (Schaudinn, 1905), bacilul tusei convulsive (Bordet şi Gengou, 1906), microbii febrelor tifoexantematice (H.T. Ricketts, 1906—10) şi ai numeroase specii care trăiesc saprofite pe medii exterioare. Descrierea microflorelor apelor, ale aerului şi mai ales ale solurilor a avut o mare importanţă în pedologie; de asemenea, ea a fost foarte utilă în studiul sistematic al bacteriilor şi al ciupercilor din genul *Streptomyces*, din care se extrag antibiotice (S.A. Waksman, 1944). Necesitatea unei clasificări a devenit mai imperioasă şi a dus, prin adoptarea nomenclaturii binomiale tradiţionale, la lucrările lui D.H. Bergey (1923), Prévot; această sistematizare ţine seamă simultan de morfologie, de caracterul culturilor şi, mai ales, de activitatea metabolică a microbilor, adică de echipamentul lor enzimatic şi de compoziţia lor chimică.

Descrierea florelor microbiene, studiul condiţiilor ecologice ale modificărilor lor, progresul tehnicilor de sterilizare au avut un mare răsunet în industrie (fermentaţii, conserve alimentare etc.) şi, de asemenea, au găsit o aplicare practică în rezolvarea problemelor de igienă generală (apa potabilă, ape reziduale, lapte). Înţelegerea importanţei fenomenelor de antibioză a avut imense aplicaţii terapeutice.

Studiul citologic al bacteriilor a dus la înlocuirea noţiunii eronate de fiinţe vii foarte simple cu aceea de celule complete, formate din citoplasmă, membrană, cu o textură complexă, şi nucleu.

Deşi structura acestuia este foarte simplă, el este totuşi format din ADN ca şi la fiinţele vii superioare. În realitate, a fost constatată existenţa unui corp central care dă reacţia lui Feulgen (Robinow, 1944). Boivin şi colaboratorii săi (înainte de 1947) au arătat că ribonucleaza face să dispară colorabilitatea citoplasmică la colorantul *Giemsa*, respectînd însă pe cea a particulelor din nucleu; aceasta dovedeşte prezenţa ARN-ului citoplasmatic.

Metodele biochimice şi mai ales cele de enzimologie au fost mult utilizate în microbiologie. Studiul metabolismelor intermediare oferă un interes care a depăşit cadrul bacteriologiei. Vom mai cita: procesele de adaptare prin pierderea funcţiilor, care corespund unei sărăciri enzimatice (Lwoff, 1944), studiul metaboliţilor esenţiali şi al factorilor de creştere (Woods, Fildes)[45], cu aplicaţiile lor la dozarea microbiologică a vitaminelor şi la explicarea mecanismului chemoterapiei sulfamidelor. Pentru biochimist, microbii sînt, astfel, un instrument foarte preţios de studiu, fie că este vorba de bacterii autotrofe şi de fenomene de chemosinteză, fie de reacţii de fermentare. Progresele cunoaşterii activităţilor biochimice atît de diverse ale microbilor au permis înţelegerea condiţiilor vieţuirii lor în mediile exterioare sau în viaţa parazitară, precum şi problema virulenţei microbiene. Imunologia a beneficiat, de asemenea, de metodele chimice (imunochimia, Landsteiner).

Microbiologia s-a integrat, astfel, în biologia generală, ale cărei metode le foloseşte în numeroase ramuri: biochimie şi mai ales enzimologie, fizică, electronică, citologie descriptivă şi experimentală, genetică, statistică. În acelaşi timp, microbiologia se împarte în mai multe ramuri distincte: bacteriologie medicală, microbiologia solului, biochimie microbiană, genetică microbiană, imunologie etc. Avîntul ei este ilustrat şi prin atribuirea a numeroase premii Nobel unor microbiologi.

2. Virusurile şi viaţa elementară

Existenţa microorganismelor invizibile la microscop s-a impus pentru prima dată în mintea lui Pasteur atunci cînd toate încercările de a pune în evidenţă agentul turbării au părut a fi zadarnice. La sfîrşitul secolului al XIX-lea, s-a reuşit detectarea lor printr-o metodă indirectă: aceste „fiinţe cu raţiune“, după triturarea ţesuturilor care le conţin, traversează filtrele şi, prin injectare, transmit o anumită boală; din această cauză le-a fost atribuită denumirea de virusuri filtrante.

---

[45] Creşterea echilibrată a bacteriilor este asigurată de o serie de mecanisme coordonate, care stimulează sau inhibă sinteza proteinelor. Adăugarea metioninei, argininei sau triptofanului la o cultură de bacterii determină încetinirea sau oprirea sintezei enzimelor care asigură lanţul de reacţii ce condiţionează formarea acestor proteine.

Virologia a cunoscut progrese importante în secolul al XX-lea. Există virusuri mult mai mici şi mai simple decît bacteriile[46] care sînt răspunzătoare de unele boli infecţioase. Datorită microscopului electronic, studiul lor a putut fi abordat.

PROPRIETĂŢILE ŞI CLASIFICAREA VIRUSURILOR. Forma virusurilor este variabilă. Mărimea lor, determinată cu ajutorul ultracentrifugii, variază de la dimensiunile unei macromolecule (8—12 nm în cazul virusului febrei aftoase; Loeffler şi Frosch, 1897) pînă la cele ale unui mic microb (400 nm în cazul virusului bolii lui Nicolas şi Favre, 1913)[47]. Bacteriofagul lui F. d'Hérelle (1917) este constituit dintr-un cap rotunjit prevăzut cu o coadă. Dar majoritatea virusurilor sînt mult mai simple, avînd formă de bastonaş, filament sau sferulă.

Compoziţia chimică a virusurilor mari este identică cu cea a microbilor[48]. Cei mai simpli par a fi pur şi simplu nişte ribonucleoproteine; ei pot fi cristalizaţi. Mozaicul tutunului şi cel al napului se datoresc unor virusuri care au fost izolate sub formă de cristale (W.M. Stanley, 1935). Aceste cristale se conservă în tuburi închise şi nu au o viaţă proprie; dar dacă ele sînt inoculate în interiorul unei celule vegetale, virusul respectiv proliferează şi provoacă boala.

Specificitatea virusurilor se exteriorizează prin diverse boli pe care le determină (turbarea, poliomielita, febra galbenă, febra aftoasă etc.), precum şi prin diversele lor proprietăţi antigenice. Nucleoproteinele care le compun se deosebesc prin natura bazelor acidului nucleic şi a aminoacizilor constitutivi ai proteinei. Se cunosc şapte tipuri de bacteriofagi care atacă *Escherichia coli* (T_1—T_7). După formă, ei sînt împărţiţi în patru grupe corespunzînd grupelor antigenice, acestea fiind stabilite pe baza altor considerente. Virusurile sînt paraziţi intracelulari obligatorii; ei sînt cultivaţi astăzi pe fragmente de ţesuturi.

În funcţie de gazda care îi primeşte, virusurile se împart în patru mari grupe[49]:

1) virusuri patogene pentru vegetalele inferioare (bacterii): bacteriofagi (Roux, 1917);
2) virusuri patogene pentru vegetalele superioare: virusurile plantelor;
3) virusuri patogene pentru nevertebrate: virusurile insectelor;

---

[46] În legătură cu acest subiect, vezi studiul lui R. Debré şi G. Desbuquois (pag. 838—840).

[47] Constanta de sedimentare a particulelor virale nu depinde numai de mărimea lor, ci şi de formă, densitate ş.a. — *V.E.*

[48] Virusurile, oricît de mari şi complexe ar fi, nu pot atinge complexitatea microorganismelor. Poate că autorul înţelege aceasta sub raportul elementelor chimice constitutive (C, H, O ş.a.). Şi în acest caz trebuie amintit că în celulele microorganismelor se găsesc o sumă de elemente chimice care nu se întîlnesc în particula virală. — *V.E.*

[49] În prezent, virusurile se clasifică după tipul de acid nucleic pe care-l conţin şi după proprietăţile lor fizico-chimice. — *V.E.*

4) virusuri patogene pentru vertebrate cu tropisme în funcție de originea embriologică a țesutului sensibil. Printre aceștia se deosebesc cinci grupe: virusuri al căror tropism este marcat pentru ectoderm (vaccin, variolă); virusuri neurotrope pure (turbarea); virusuri endoteliomezodermice (limfogranulomatoza venerică la om etc.), virusuri septicemice (rujeolă, rubeolă etc.); virusurile proliferative (sarcomul lui Roux, 1910; leucoze și leucemii transmisibile).

Virusurile infectează celula pătrunzînd în ea din exterior; ele pot ieși afară provocînd contagiunea în același mod ca și bacteriile.

Pătrunderea intracelulară este urmată adesea de o perioadă îndelungată de latență înaintea apariției bolii. Uneori, aceasta este legată de acțiuni citolitice, ca în cazul poliomielitei, iar alteori citostimulante, ca în cazul virusurilor tumorigene. Infecția latentă poate fi pusă în evidență prin reacții serologice. Infecțiile ascunse sînt foarte răspîndite. Virusurile latente își pierd organizarea lor morfologică, fiind reduse la particule de nucleoproteine comparabile cu genele. Aceste provirusuri sînt integrate în viața și structura celulei. Un virus latent se poate transforma în virus proliferant prin iradiere, prin acțiune chimică și uneori chiar spontan.

VIRUSURILE ȘI PROBLEMA VIEȚII. Poate oare viața exista în afara organizării celulare? Problema se pune doar pentru formele virale. La extremitatea inferioară a scării, virusurile sînt particule foarte mici, cu structură omogenă și compoziție constantă, care pot fi obținute sub formă cristalină fără a pierde nimic din puterea lor de infecție[50]. La extremitatea superioară, virusurile — a căror mărime ajunge la cea a moleculelor mari de proteine — sînt organisme cu structură și cu morfologie complexe, cu o organizare foarte apropiată de cea a bacteriilor, deci de a celulelor. Majoritatea virusurilor patogene ale omului și ale animalelor se situează între aceste limite extreme.

Mai multe probleme care sînt în curs de studiu se leagă de însăși problema vieții: legătura dintre proteine și acidul nucleic, multiplicarea virală, genetica virală și competiția dintre virusuri și organitele celulare.

1) În virusul mozaicului tutunului, fracțiunea nucleică pare a fi situată între două învelișuri proteice[51].

Au putut fi separați cei doi compuși chimici, recombinîndu-se ARN-ul virusului plantinului cu proteina virusului mozaicului tutunului: s-a obținut un germen care provoacă simptomele plantinului și care posedă proprietățile antigenice ale mozaicului tutunului. Mai apare însă și altceva: dacă ARN-ul este extras într-un mod suficient de blînd, el apare a fi infecțios prin el însuși.

2) Reproducerea virusurilor reprezintă o problemă capitală a biologiei contemporane. Mecanismul său a fost lămurit la bacteriofagi.

---

[50] La extremitatea inferioară a scării, mărimea particulelor virale ajunge la cea a moleculelor proteice mari, iar la cea superioară, la mărimea microbilor mici. — *V.E.*

[51] În principiu, virusurile sînt formate dintr-o moleculă de acid nucleic (ARN sau ADN) și un înveliș proteic (capsidă). Acesta este format din subunități proteice (capsomere). Unele virusuri mai complexe au și un înveliș care conține și molecule lipidice, resturi glucidice (alcătuiesc glicoproteinele), un număr mic de enzime, cationi. — *V.E.*

Ataşîndu-se cu coada de suprafaţa unei bacterii, bacteriofagul îşi goleşte conţinutul în interiorul protoplasmei bacteriene, în timp ce „fantoma" sa rămîne prinsă la suprafaţă. După această perioadă latentă, în interiorul bacteriei apar brusc numeroase particule care reproduc aspectul tipic al particulei originare. După cîteva momente, bacteria se lizează, eliberînd bacteriofagii. Acest ciclu reîncepe apoi la alte bacterii.

Analiza chimică a fenomenului cu ajutorul unor substanţe radiomarcate a permis stabilirea faptului că ADN-ul este cel care se răspîndeşte în citoplasma celulară: multiplicarea fagului, realizată sub acţiunea ADN-ului său, are deci loc pe baza metabolismului celulei-gazdă.

Cercetările sînt mai puţin avansate în privinţa virusurilor animalelor; mecanismul reproducerii lor nu este mult diferit de cel al fagilor. Fenomenul de eclipsă este constant. Microscopul electronic evidenţiază faptul că particulele care au pătruns în celula atacată se dizolvă complet. Nu există multiplicare prin diviziune binară, ci o redistribuire a componentelor citoplasmei, urmată de formarea unor noi particule de virus.

Procesul de multiplicare virală poate avea loc în citoplasmă sau în nucleu. Se consideră că a fost pusă în evidenţă producerea de particule neinfecţioase, de virusuri incomplete sau de provirusuri, care pot fi transmise ca plasmagene (transmiterea virusului sensibilităţii la CO_2, a factorului lactat al lui Bittner din cancerul mamar, 1936).

3) Genetica virusurilor a fost abordată din punctul de vedere al hibridării şi al mutaţiei[52].

S-a dovedit că de fiecare dată cînd tipurile înrudite diferă prin două caractere apar noi tipuri genetice. Au fost realizate mutaţii sub acţiunea radiaţiilor. Luria (după 1952) presupune că o parte din bacteriofagi conţin un anumit număr de unităţi autoreproductive, capabile să sufere o mutaţie letală sub acţiunea radiaţiilor ultraviolete. El a calculat numărul minim de unităţi (*n*) pe care le conţine o particulă de bacteriofag (25 pentru T_2). Analiza experimentală duce la presupunerea că unităţile se reproduc independent pentru a forma un grup de gene pe baza cărora se pot reconstitui noi particule active. În cazul virusului gripal, s-a calculat că fiecare particulă ar poseda una sau mai multe genome, fiecare cu cel puţin 20 de gene.

4) Virusurile fiind incapabile prin ele însele să efectueze schimburile de energie necesare sintezelor lor, se pune întrebarea care sînt mecanismele celulare ale gazdei lor.

Virusurile mici folosesc echipamentul enzimatic al celulei-gazdă. Dar nucleoproteina virală aduce un potenţial de inducţie, sau o calitate de a coordona enzimele celulare în sensul convenabil. Virusurile cu ADN se multiplică în asociaţie cu nucleul, în timp ce virusurile cu ARN provoacă o mărire a metabolismului nucleolului şi citoplasmei perinucleare. Sintezele efectuate la nivelul virusului au fost studiate cu ajutorul unor elemente marcate cu radioizotopi în mediul ambiant; aceste elemente au fost regăsite în virus şi nu în organitele celulare.

Virusul este un inductor specific care, în cadrul celulei, are tendinţa de a-i depăşi pe ceilalţi inductori. Dacă el este ţinut la respect de anticorpi, rămîne în stare de virus latent. Dacă condiţiile celulare sînt favorabile, el intră în competiţie metabolică cu inductorii normali şi cu organitele celulare autoreproducătoare. Fiind prioritar în această competiţie, virusul coordonează reacţiile celulare în profitul său. Mecanismele generale sînt însă aceleaşi: virusul, agent al morţii, nu furnizează deci informaţii asupra proceselor vieţii.

---

[52] Vezi şi studiul lui A. Tétry (pag. 715–716).

Atîta timp cît cercetarea era redusă la posibilitatea de a căuta secretele vieţii numai la nivelul celulei vii, orice speranţă de a găsi într-o zi soluţia dispărea în faţa complexităţii unei lumi care nu se supunea unei analize integrale.

În cazul virusurilor, situaţia nu mai este aceeaşi. Conservînd sau dobîndind o anumită autonomie, ei pot fi separaţi de celulă, preparaţi în stare pură şi supuşi unor cercetări care vor permite într-o zi înţelegerea unora dintre fazele procesului vital, asimilarea şi dedublarea componentelor celulare (J. Oberling).

Viaţa cea mai elementară nu poate fi studiată decît la scara unui organit ce se găseşte în celulă. Din acest punct de vedere, virusul oferă un material excelent, un adevărat experiment al naturii. J. Brachet a subliniat marea asemănare dintre virusurile plantelor şi microzomi. Se poate pune întrebarea, de asemenea, asupra diferenţei ce există între o genă şi un virus. Asupra acestei probleme deosebit de importante au fost formulate diferite ipoteze; una dintre cele mai recente este cea a lui Boivin şi Vendrely (1947), în care rolul esenţial îl joacă acizii ribonucleici ai microzomilor consideraţi drept centrii directori secundari ai celulei. În etapa actuală a cercetărilor, această problemă fundamentală este însă departe de a fi rezolvată.

Oare virusurile reprezintă o stare precelulară sau o stare evolutivă spre o organizare autonomă celulară, ori, dimpotrivă, sînt forme degenerate de organisme, adaptate la o viaţă parazitară?

Este posibil oare să se considere că fiinţa vie poate fi redusă la o singură moleculă mare? Pare dificil să socotim virusurile drept fiinţe primitive, deoarece ele nu se pot multiplica decît în starea de paraziţi intracelulari. Este oare vorba de o degradare datorată parazitismului şi care duce în cele din urmă la o moleculă mare de nucleoproteină a cărei inerţie se explică prin pierderea sistemului enzimatic? Am ajuns, astfel, oare la limitele vieţii? Apare, deci, clară importanţa acestor cercetări în biologia generală şi în medicină.

În legătură cu acest subiect, P. Lépine scrie:

„Frontiera dintre viaţă şi moarte este... fixată, nu la limitele individului, destul de neprecise cînd se ajunge la formele elementare, nici măcar la cele ale celulei, deoarece virusurile de dimensiuni mari ni se prezintă sub formă de structuri celulare incomplete şi totuşi viabile, ci la intervalul care trebuie în mod logic să separe materia organică vie de materia organică nevie.

Atingem aici însăşi esenţa problemei virusurilor, respectiv a modului în care aceşti agenţi infecţioşi se dovedesc uneori atît de apropiaţi de gene, de aceste suporturi materiale ale eredităţii care sînt situate pe cromozomi şi care, ca şi virusurile, sînt strîns legate de funcţionarea celulei, de reproducerea şi de viaţa sa, fără a poseda ele însele, în mod autonom, atributele vieţii“.

CAPITOLUL II
Cîteva mari probleme ale biologiei animale

În cadrul marilor funcții ale organismelor animale — reproducere, nutriție, coordonare — se evidențiază diversitățile structurale și fiziologice multiple în funcție de speciile animale sau vegetale. Vom considera aceste procese mai ales la organismele animale cele mai dezvoltate pe scara zoologică, la care ele apar în complexitatea lor cea mai mare și cea mai remarcabilă[1].

A. REPRODUCERE ŞI EMBRIOLOGIE

Cu excepția bacteriilor, care nu cunosc sexualitatea, și în afară de unele modalități de reproducere agamă (care alternează cel mai adesea cu fenomene de fecundare în generațiile succesive), contopirea gameților (unul patern și celălalt matern) constituie procesul inițial care dă naștere unui nou individ. Secolul al XIX-lea a realizat progrese fundamentale în cunoașterea fenomenelor de reproducere sexuată. Elucidarea acestora datează din perioada decisivă în care diferiți autori (Thuret, la *Fucus*, 1868; Hertwig, la ariciul-de-mare, 1875; E. van Beneden, la *Ascaris*, 1883) au observat procesul intim al fecundării. Puțin mai tîrziu au fost descoperite preparativele „matrimoniale“ esențiale care constau în reducerea cromatică (J. Overton, 1893; J.B. Farmer, 1894); termenul de meioză va fi introdus în 1905 de Farmer și J.E. Moore. Aceste rezultate (vol. III, pag. 411) au permis ca reproducerea să fie integrată în teoria celulară.

CELULELE SEXUALE. În cursul ultimilor ani ai secolului al XIX-lea, A. Weismann a considerat celulele germinale ca formînd o categorie distinctă de țesuturile individului (vol. III, pag. 556). Astfel, el opune printr-o demarcație ireductibilă, germenul şi soma. În secolul al XX-lea teoria sa va primi confirmări hotărîtoare[2].

---

[1] Biologia vegetalelor este tratată de J.F. Leroy (pag. 755—781), în timp ce biologia nevertebratelor este analizată de A. Tétry (pag. 685—692). Numeroase aspecte ale fiziologiei umane sînt prezentate de R. Debré și J. Desbuquois în paragrafele lor asupra aspectelor medicale.

Acestea se bazează pe precocitatea reperării în germenul în curs de dezvoltare a teritoriului viitoarelor celule sexuale. Cînd regiunea respectivă este distrusă experimental, la începutul ontogenezei, individul va fi lipsit mai tîrziu de celule reproducătoare: iradierea efectuată la păsări o dovedeşte.

Dualitatea funcţională a somei şi germenului prezintă implicaţii importante în domeniul eredităţii. Numai transformările genelor germenului sînt durabile şi constituie mutaţii, în timp ce adaptările individului la condiţiile ambiante particulare, care reprezintă somatizări, dispar o dată cu el.

Se părea deci că germenul poate fi considerat nemuritor, în timp ce soma era, dimpotrivă, pieritoare. Dar anumite fapte discordante observate la unele nevertebrate (vezi pag. 688) au pus din nou sub semnul întrebării o problemă ce părea rezolvată.

Constituind subiectul de predilecţie al unor studii citologice, formarea celulelor sexuale şi reducerea cromatică au fost analizate la numeroase specii. Schema iniţială heterohomeotipică, în care numai prima diviziune este reducţională, a fost înlocuită cu noţiunea de tetradă, prin 1910: aşezarea în perechi a cromozomilor omologi, urmată de clivajul lor, formează în profaza primei diviziuni asemenea grupe care se vor disocia, repartizîndu-se între cele patru celule-fiice.

Diferenţierea celulelor sexuale a furnizat un material remarcabil pentru a urmări transformările organitelor celulare, ca apariţia flagelului în cursul spermiogenezei, sau elaborarea vitelusului în ou. Spermatozoidul a fost una dintre primele celule examinate la microscopul electronic. S-a stabilit atunci (J.T. Randall şi M.H.Fiedlaender, 1950; etc.) că omogenitatea aparentă a cozii sale masca existenţa unor microtubuli, în număr de nouă perechi periferice şi o pereche centrală. Au fost precizate şi condiţiile de viaţă ale gameţilor.

Spermatozoizii prezintă un metabolism intens, destinat să facă faţă consumului de energie cauzat de mobilitatea lor. A fost determinată compoziţia plasmei seminale. Studiul influenţei mediului asupra mişcării şi capacităţii de fecundare a celulelor sexuale ejaculate a găsit numeroase aplicaţii atît în inhibarea spermei, cît şi în metoda însămînţării artificiale. Anumiţi agenţi fizici (radiaţii X, radiaţii nucleare) sau chimici pot determina leziuni teratologice în cursul dezvoltării ulterioare a embrionului.

FECUNDAREA. Observarea fecundării a putut fi efectuată la mamifere încă înainte de 1900. Întîlnirea gameţilor are loc în pîlnia trompei lui Fallope. S-au făcut încercări de a se obţine acest fenomen *in vitro* şi, recent, a putut fi şi fotografiat. Cîţiva cercetători au semnalat chiar că au reuşit să efectueze fecundarea în afara organismului la specia umană.

---

[2] La noi în ţară, cercetări asupra gametogenezei, atît în ce priveşte cariotipul, cît şi evoluţia constituanţilor citoplasmatici, au fost iniţiate şi realizate de D. Voinov şi continuate de I. Steopoe, V. Mîrza, V. Radu, M. Ionescu-Varo, Fl. Mezincescu, C. Drăgoţoiu, V. Trandaburu, A. Bancu şi M. Vlad, la insecte, crustacee, moluşte şi vertebrate. — *I.S.*

Mecanismele care determină apropierea ovulului şi a spermatozoidului sînt considerate chimiotropisme. Lillie (1912) a constatat la *Nereis* atracţia pe care o exercită asupra spermatozoizilor apa de mare în care au stat ovulele aceleiaşi specii. El a dat numele de fertilizină substanţei care provine din celula femelă şi are această capacitate. De altminteri, în aceste fenomene intervin mai multe principii, care nu par a fi prea diferite de cele evidenţiate în imunologie. Fecundarea este însoţită de modificări ale permeabilităţii ovulare, precum şi de o activare a respiraţiei. Reuşita sa depinde de starea fizico-chimică a mediului ambiant, care trebuie să fie cuprinsă între limite precise.

APORTUL PARTENOGENEZEI EXPERIMENTALE[3]. Problema principală este de a cunoaşte cauzele care duc la declanşarea ontogenezei, cu alte cuvinte, ce calitate posedă spermatozoidul pentru a scoate ovulul din letargia sa. Încă din secolul al XIX-lea s-au făcut încercări de a înlocui spermatozoidul prin agenţi fizici sau chimici. Celebra experienţă a lui J.Loeb din 1899 reprezintă primul succes al partenogenezei experimentale. În 1906, Loeb a propus o nouă metodă, mai eficace; el a dedus faptul că fecundarea declanşează mecanisme chimice şi că trebuie deosebite două etape esenţiale în acest proces: *activarea* ovulului, ale cărui permeabilitate şi oxidări cresc, şi *reglarea*, care declanşează ontogeneza. Cercetările ulterioare ale lui Y.Delage şi M.Goldsmith (1913) sînt orientate spre o modificare ritmică a sistemului coloidal al ovulului nefecundat.

Eşalonate pe 35 de ani, cercetările lui E.Bataillon au fost îndreptate mai ales asupra batracienilor; ele au adus contribuţii importante la înţelegerea mecanismului partenogenetic.

O primă serie de experienţe (1900—1910) studiază influenţa presiunii osmotice, a căldurii, a frigului, a impregnării eterogene; ele nu duc decît la evoluţii abortive. A doua serie este inspirată din fecundările dintre specii diferite, în cursul cărora se observă că spermatozoidul joacă doar un rol mecanic. Înlocuind celula masculă printr-un stilet subţire de sticlă sau de platină, Bataillon a observat că ovulele sînt activate, segmentarea fiind însă abortivă. El reuşeşte să obţină dezvoltarea lor îmbibîndu-le cu sînge sau inoculîndu-le cromatină. După 1930, Bataillon a arătat că agenţii activanţi sînt aceiaşi la anure şi la aricii-de-mare şi că acest paralelism se referă, de asemenea, şi la fenomenele citologice.

Numeroşi biologi au contribuit la dezvoltarea acestor cercetări (J.Loeb, H.Voss, J.Rostand etc.). Partenogeneza a putut fi obţinută la diverse clase zoologice. La mamifere s-a reuşit declanşarea ei prin influenţe termice. În 1939, J.Pincus a obţinut dezvoltarea partenogenetică a ovulului de iepure, dar aceste experienţe care deschid largi perspective nu se găsesc decît la început.

Analiza fecundării a fost abordată pe alte căi. Încrucişarea între specii distincte duce la o întreagă gamă de reacţii, mergînd de la simpla activare, pînă la reglare şi la amfimixie. Numai eliminarea totală a cromatinei paterne, străină speciei, permite realizarea ontogenezei.

---

[3] În acest domeniu sînt de remarcat studiile realizate în România asupra procesului de ginogeneză (pseudogamie) la peştii teleosteeni, de către I. Steopoe, T. Buşniţă, M. Nedelea şi C. Drăgotoiu. — *I.S.*

O altă metodă de cercetare o constituie combinaţiile gametice patologice. Iradierea spermatozoizilor furnizează informaţii comparabile cu cele precedente. Dezvoltarea are loc în momentul în care „boala radiului" (boala de iradiaţie) alterează nucleul mascul împiedicînd amfimixia. Avem de-a face atunci cu o adevărată partenogeneză. Au fost considerate şi alte aspecte ale problemei. S-a stabilit faptul că monospermia, adică pătrunderea unui spermatozoid unic în ovul, în cazul fecundării normale, depinde de o transformare a citoplasmei periferice a ovulului în momentul activării. Pentru ca fecundarea să poată avea loc, este necesar ca celula femelă să fie matură.

Distingînd rotiţele din angrenajul transmiterii vieţii de către indivizi, experimentarea a înlăturat astfel orice caracter metafizic al acestui fenomen. Asemenea realizări nu prezintă deci numai un interes speculativ. Ele ne măresc posibilităţile, sprijinind practica pe baze raţionale. Încercări de fecundare artificială au fost întreprinse de mult timp. Astăzi se pot efectua după dorinţă însămînţări la mamifere, între indivizi situaţi la distanţe mari. Datorită selectării părinţilor, această metodă le permite crescătorilor sau cultivatorilor aplicarea unor principii de eugenie.

EMBRIOLOGIA[4]. Această ştiinţă a cunoscut un adevărat avînt după ce C.F. Wolff a stabilit definitiv în secolul al XVIII-lea că ontogeneza constă în crearea unor structuri pornind de la un ovul fecundat în care acestea nu sînt preformate. Secolul al XIX-lea a pus treptat bazele embriologiei experimentale (vol. III, pag. 537—540). Realizarea capitală, emiterea teoriei forţelor embrionare, de către K.E. von Baer, va sta la baza histogenezei. Studiile sînt efectuate pe secţiuni seriate, examinate la microscopul optic. Embriologia comparată evidenţiază trăsăturile generale şi aduce argumente tezei transformiste. Embriologia morfologică realizează, de asemenea, unele progrese, aducînd elemente noi mai ales în ceea ce priveşte specia umană.

La începutul secolului al XX-lea, cel mai tînăr embrion cunoscut, descris de Peters, avea 14 zile. Se descriu apoi stadii mai puţin avansate: cel al lui Th. Bryce şi J. H. Teacher (1908) avea 14 zile; cel al lui Miller (1926) în vîrstă de 11 zile, acesta din urmă fiind studiat şi de Streeter. Datorită progreselor endocrinologiei genitale feminine, se stabilesc punctele de reper cronologice: momentul exact al ovulaţiei la mijlocul intervalului intermenstrual şi scurtele intervale consecutive în care poate avea loc fecundarea. În 1942, A. Th. Hertig şi J. Rock au semnalat un blastocit de $7^1/_2$ zile, în faza de implantare; breşa formată în endometru prin pătrunderea ovulară nu era încă complet închisă. Ei semnalează apoi stadii de segmentare şi reconstituie filmul proceselor ce au loc în cursul primei săptămîni, care corespund perioadei de migrare în trompe şi apoi de eliberare în cavitatea uterină.

---

[4] La noi în ţară, în domeniul embriologiei au realizat lucrări valoroase: I. Borcea, asupra dezvoltării rinichiului la peştii cartilaginoşi; G.T. Dornescu, E. Marcu şi C. Sorescu, despre dezvoltarea neurocraniului şi a vascularizaţiei pronefrosului la *Cyprinus carpio;* I. Steopoe, M. Teodorescu, M. Nedelea şi C. Drăgotoiu, asupra dezvoltării embrionare, originii gonocitelor, diferenţierii tegumentului, faringelui şi a timusului la unele ciprinide.

În domeniul embriologiei experimentale sînt de remarcat cercetările lui I. Menkeş, V. Preda, A. Miclea, A. Ilieş şi G. Deleanu asupra embriogenezei păsărilor şi mamiferelor. — *I.S.*

Cealaltă mare descoperire a embriologiei morfologice o constituie analiza gastrulaţiei vertebratelor prin metoda marcării cu coloranţi vitali.

Anumite ouă de ascidii prezintă teritorii pigmentate natural, ceea ce permite urmărirea uşoară a evoluţiei lor. W. Vogt (1925) s-a inspirat din această dispunere şi a reuşit să tatueze ouă de batracieni, fără a le modifica dezvoltarea ulterioară. Metoda a fost apoi folosită la peşti, reptile şi păsări. Rezultatele au scos în evidenţă cinetica fenomenelor de gastrulaţie. Se observă migraţii celulare care duc la formarea foiţelor embrionare, adevărate „mase de manevră". S-a reuşit, de asemenea, să se traseze pe suprafaţa blastulei, înaintea începerii deplasărilor, harta teritoriilor „prezumtive", a căror destinaţie normală este previzibilă. Datorită acestei metode, se poate atenua deosebirea dintre gastrularea prin invaginare şi gastrularea prin linie primitivă: aceasta reprezintă o simplă diferenţă în topografia hărţilor şi în cronologia apariţiei foiţelor embrionare.

Încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, preocuparea experimentală înlocuieşte activitatea descriptivă, care, dealtminteri, este pe cale de desăvîrşire. Pentru a înţelege mecanismele dezvoltării şi factorii responsabili ai morfogenezei, se fac încercări de a perturba cauzele şi de a analiza efectele obţinute astfel. W.Roux este fondatorul embriologiei experimentale, sau al embriologiei cauzale (vol. III, pag. 540—541). Distrugeri prin înţepare sau prin separări de blastomere sînt efectuate de Roux (1885), I. Chambry (1886), H. Driesch (1891—1906), A. Herlitzka (1896). Astfel, ouăle sînt clasificate după cum sînt izotrope sau anizotrope[5].

La cele a căror substanţă este izotropă, orice deficienţă poate fi reparată de partea rămasă. Potenţialităţile totale ale teritoriilor sînt în acest caz superioare faţă de evoluţia lor normală. La cele anizotrope, substanţa reprezintă un mozaic de potenţialităţi şi orice deficit este de neînlocuit. Potenţialităţile totale ale germenului sînt identice cu potenţialităţile lui reale.

Ouăle anizotrope l-au condus pe E.B.Wilson (1904) la noţiunea de localizări germinale, stabilite printr-o experienţă efectuată asupra unei moluşte, *Dentalium*. Cercetările iniţiate asupra batracienilor de către Th. Morgan (1897), Roux (1903) şi J.W.Jenkinson (1907) au stabilit regiunile ale căror leziuni sînt iremediabile şi cele ale căror distrugeri se pot repara (A.Brachet, 1905—23).

Puterea de reglare după suferirea unei agresiuni este caracteristică ouălor izotrope. Studiată la diverse specii, ea s-a dovedit a fi proprietate generală a germenilor, pierdută mai mult sau mai puţin precoce în funcţie de tipurile de ouă.

La ariciul-de-mare, un blastomer separat în cursul primelor stadii este capabil să formeze o fiinţă completă (H. Driesch, 1891). În acelaşi grup s-au putut realiza embrioni compuşi, sudînd porţiuni izolate; singura condiţie necesară pentru reuşită este respectarea proporţiei între teritoriul animal şi cel vegetativ. Mai mult, sudura a două ovule duce la combinarea elementelor fiecăreia într-un singur individ uriaş care nu aminteşte prin nimic dualitatea originii sale.

---

[5] Principalele aspecte ale embriologiei nevertebratelor sînt expuse de A. Tétry (pag. 685—687).

Prin fisurarea germenului la păsări, în două părţi, E.Wolff şi H.Lutz (1945—48) au obţinut monştri dubli sau gemeni, după cum secţionarea era parţială sau totală. A fost posibilă chiar obţinerea a patru embrioni pornind de la un singur ou. În cazul mamiferelor, separarea primelor două blastomere la şoarece duce la formarea a două ontogeneze complete; acest fapt lămureşte procesele de apariţie a gemenilor adevăraţi. Dealtfel, poliembrionia spontană, adică formarea mai multor embrioni pornind de la un singur ovul, este binecunoscută în special la tatuu (Newman şi Patterson, 1910).

Descoperirea care a avut o influenţă covîrşitoare este cea a fenomenelor de *inducţie* sub acţiunea organizatorilor. Experienţa fundamentală în această privinţă a fost realizată în 1921, de H.Spemann. Izolînd buza blastoporală a unui batracian la începutul gastrulării, el a grefat-o la nivelul peretelui ventral al unei alte gastrule. La aceasta din urmă, a observat apariţia a două serii de formaţii dorsale caracteristice: tub nervos, coardă dorsală, piese somitice. Una dintre serii, cea situată normal, corespunde dezvoltării obişnuite. Cealaltă, supranumerară, a luat naştere la nivelul grefei. Spemann şi elevii săi (O.Mangold etc.) au stabilit faptul că elementele neaşteptate sînt formate din celulele gazdei, în timp ce noile formaţii sînt induse de fragmentul grefat. Teritoriul înzestrat cu o astfel de capacitate organogenă este denumit *organizator*. Intervenţia sa, confirmată de A.Gurwitsch (1922) şi P.Weiss (1923), a fost constatată în toată seria vertebratelor.

Acest teritoriu organizator este localizat în buza dorsală a blastoporului, cînd gastrularea se efectuează prin invaginare: el este reprezentat de linia primitivă la păsări. În cazul grefelor între batracieni şi păsări nici o specificitate zoologică nu se manifestă. Elevul lui Spemann, J. Holtfreter, a reprodus fenomenul *in vitro*: ţesutul cordal determină apariţia unui tub nervos pe seama unui banal ectoblast.

S-a încercat să se atribuie această mare capacitate unor substanţe chimice diferite: merită a fi reţinute ribonucleoproteinele asociate unor grupări sulfhidrice.

Organizatorul gastrulean, sau organizatorul primar, nu este singurul care poate provoca inducţii. S-au descoperit regiuni ale embrionului care în stadii ulterioare reglează diferenţieri mai limitate. Încă din 1901, Spemann a semnalat faptul că vezicula optică provenită din nevrax şi destinată să formeze retina, declanşează naşterea cristalinului. Aici este vorba de un organizator secundar. Ontogeneza apare astfel determinată de cascade de inducţii.

Alţi embriologi au încercat să integreze aceste fapte într-o noţiune mai largă, cea a gradienţilor, formulată de C.M.Child (1915).

Această ipoteză atribuie o ierarhie regiunilor embrionului (ca, dealtfel, şi ale adultului), fiecare teritoriu guvernînd pe cel care îl urmează şi depinzînd de cel care îl precede. Noţiunea de cîmp (J. S. Huxley, 1932) este mai generală, deoarece acţiunea nu se limitează aici la o direcţie axială descrescîndă, ci iradiază în toate direcţiile pornind de la un centru. Organizatorul trebuie să fie asimilat unui cîmp — gradient. Astfel s-a stabilit existenţa în ou a unui cîmp cortical şi a unuia vegetativ.

O noţiune şi mai vastă este cea de potenţial morfogenetic care înlocuieşte diversitatea calitativă prin deosebiri pur cantitative. Fapte precise sprijină această concepţie.

Astfel, se ştie că mezodermul cuprinde, dinspre partea dorsală spre regiunea sa ventrală, trei zone: somitele, piesele intermediare, care vor da rinichii, şi lama laterală. Dar dacă somita şi lama laterală sînt cultivate alături, se observă formarea unei piese intermediare între ele. Pe de altă parte, intervenţia unor substanţe chimice poate mări sau micşora potenţialul unei regiuni; spunem că în primul caz are loc „animalizarea", iar, în cel de-al doilea, „vegetalizarea". Iradierile determină, de asemenea, tulburări ale dezvoltării, coborînd nivelul ierarhiilor. Este probabil faptul că într-o zi chimia va lămuri semnificaţia acestor noţiuni.

Trecînd la stadii mai tîrzii, este abordată problema diferenţierii ţesuturilor şi a organelor, care se realizează atît pe plan structural, cît şi funcţional.

Anumite diferenţieri celulare sînt rezultatul unor predispoziţii inerente elementelor din care derivă: astfel este cazul muşchiului cardiac care se dezvoltă *in vitro* şi începe să bată, atunci cînd este cultivat mezenchimul din care provine. Soarta ţesuturilor conjunctive este, dimpotrivă, strict supusă condiţiilor ambiante, care le modelează. Posibilitatea de a acţiona asupra sexului conductelor genitale şi chiar asupra glandei genitale reprezintă un exemplu minunat de diferenţiere provocată.

Viaţa „creatoare de forme" nu constituie unica preocupare a embriologiei experimentale. O cale recent deschisă este cea a explorării fiziologiei fetale, adică a funcţionării organice şi a coordonărilor sale reglatoare.

Circulaţia sîngelui a putut fi urmărită radiologic cu ajutorul unor substanţe opace. Sînt în studiu multe probleme în domeniul nutriţiei, al excreţiei şi al activităţii nervoase. S-a stabilit că decapitarea nu determină oprirea dezvoltării, cu condiţia evidentă de a efectua ligaturile vasculare necesare. Aportul a fost interesant mai ales în domeniul secreţiilor interne. Anumite date se referă la intrarea în activitate a hipofizei anterioare, a tiroidei, a paratiroidelor şi a formaţiilor genitale endocrine. Hormonii secretaţi sînt oare aceiaşi ca cei ai adultului? Problema se pune atît pentru principiile responsabile de diferenţierea sexuală, cît şi pentru secreţiile medulo-suprarenalei.

Embriologia chimică are drept scop precizarea repartizării diverselor substanţe în ou, în diferitele lui stadii de dezvoltare, precum şi a naturii şi intensităţii metabolismelor (K. Linderstrom-Lang şi D. Glock) şi a apariţiei enzimelor care par deosebit de necesare organogenezei.

Acest studiu, iniţiat prin 1930 de şcoala lui J. Needham, C. H. Waddington şi D. M. Needham de la Cambridge, precum şi de F. G. Fischer, E. Wehmeier, J. Holtfreter, W. M. Nowinski etc. a luat o mare dezvoltare în numeroase ţări. Pare dovedit faptul că eterogenitatea potenţială a teritoriilor distincte în ouăle în mozaic provine din eterogenitatea compoziţiei lor chimice. Recent, atenţia a fost îndreptată în special asupra ribonucleinelor care sînt uşor de detectat datorită bazofiliei lor: se poate deci considera că o primordie prezumtivă se organizează iniţial pe cale chimică; această diferenţiere chimică condiţionează specificitatea morfologică şi funcţională ulterioară a elementelor tisulare derivate.

TERATOGENEZA EXPERIMENTALĂ. Un alt punct de vedere constă în încercarea de a reproduce monstruozităţile „spontane". Printre numeroasele experienţe realizate în acest domeniu, vom cita pe cele ale lui E. Wolff (1936).

Inspirate din ipoteza lui Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, conform căreia perturbarea iniţială se datoreşte unei opriri localizate a dezvoltării, aceste experienţe folosesc un fascicul fin de radiaţii X pentru a localiza leziunea într-o regiune precisă a embrionului. Astfel a fost posibilă reproducerea majorităţii monstruozităţilor naturale la embrionii de găină de vîrstă dată. Aceste experienţe au permis lămurirea parţială a legilor ontogenezei naturale.

Un alt procedeu de studiu al teratogenezei constă în utilizarea unor substanţe chimice, ca ricina, colchicina, tripaflavina etc. În acest mod au fost create numeroase malformaţii; un factor definit, care intervine la un moment determinat, aduce după sine o anomalie precisă.

În toate aceste descoperiri este vorba de producerea unor monştri simpli. Monştrii dubli sînt, în realitate, gemeni incomplet separaţi. Un aspect diferit al genezei malformaţiilor este cel care, la mamifere, depinde de tulburările materne în cursul gestaţiei.

Aceste „embriopatii de origine maternă" prezintă un mare interes pentru specia umană, adesea ele exprimînd afecţiuni ereditare, care însă nu sînt transmise prin descendenţă, deoarece nu ating patrimoniul genetic (vezi pag. 720). Anumite boli infecţioase materne, anumite excese vitaminice şi deficienţele alimentare din perioada gravidităţii pot afecta dezvoltarea embrionilor prezenţi în uter.

B. DIFERENŢIERI SOMATICE

La scara individului, viaţa se prezintă cu o foarte mare diversitate, atît cînd se studiază global organismele metazoarelor şi ale metafitelor, cît şi în cazul analizării elementelor celulare care le compun.

În domeniul biologiei animale, secolul al XIX-lea a fost marea epocă a anatomiei comparate. El a fost, totodată, martorul întemeierii anatomiei generale, bazată pe noţiunea de ţesuturi, formaţii alcătuite din celule cu aceeaşi structură. Pornind de la aceste baze fundamentale, preocupările noastre s-au extins în mod nebănuit. Diferenţierile sînt de asemenea analizate din punct de vedere ultrastructural, biochimic şi fiziologic.

În timp ce histofiziologia încearcă să determine specializarea fiziologică, legată de specificitatea morfologică, morfologia experimentală studiază cauza diferenţierilor structurale. Marea plasticitate a organismelor vegetale permite recunoaşterea uşoară a acţiunii factorilor externi asupra morfologiei. Efectele asupra structurilor sînt consecutive unor modificări de metabolism. Transformările produse nu se transmit ereditar; ele nu afectează decît individul. În domeniul histologiei animale, rolul morfogen al hormonilor este surprinzător.

Datorită acestor progrese ale biologiei celulare speciale, fiecare diferenţiere poate fi considerată sub aspectul cvadruplu al formei, funcţiei, constituţiei şi condiţionării. Vom da cîteva exemple, luate cel mai adesea de la vertebrate şi mai ales de la mamifere.

ŢESUTUL CONJUNCTIV. Substanţele intercelulare ale ţesutului conjunctiv sînt compuse, după cum se ştie, dintr-o substanţă fundamental amorfă şi din fibre (colagene, elastice, reticulate). În secolul al XX-lea s-a stabilit că substanţa fundamentală amorfă este formată din mucopolizaharide. Aceste macromolecule sînt depolimerizate de o enzimă, ceea ce duce la o fluiditate crescută care permite răspîndirea microbiană (factorul de răspîndire al lui Duran-Reynals, 1928).

Fibrele colagene microscopice sînt formate din ultrafibrile longitudinale, care prezintă o striaţie transversală cu intervale între benzi de circa 640 Å (Schmitt şi colaboratorii, 1942—1948). Dimpotrivă, elementele elastice nu manifestă o astfel de periodicitate (Lanning şi colaboratorii, 1932). La microscopul electronic se observă că fibrele colagene apar în marginea citoplasmei fibroblastelor tinere, sub forma unor ultrafibrile care prezintă o striaţie mai deasă (Forter, 1952). Această constatare a pus capăt discuţiilor care, încă de la apariţia teoriei celulare, opuneau pe partizanii secreţiei metaplasmei celor care susţineau formarea ei exoplasmică sau celor care admiteau independenţa dintre celule şi substanţa intercelulară.

În sfîrşit, au fost puse în evidenţă influenţele ce se pot exercita asupra ţesuturilor conjunctive. Dezoxicorticosteronul antrenează fibroza, în timp ce cortizonul are o acţiune pozitivă utilizată în tratarea reumatismelor articulare.

ŢESUTUL OSOS. Ţesutul osos reprezintă o diferenţiere specială a ţesutului conjunctiv. Substanţa fundamentală, care este tot mucopolizaharidică, primeşte un depozit de săruri fosfocalcice. Această sare a osului, hidroxiapatita, are o structură cristalină care a fost bine stabilită.

Cercetările efectuate în decursul a peste 40 ani (Leriche şi Policard, 1926; J. Roche, Dallemagne, Lacroix, după 1940) au stabilit procesele biochimice ale osificării. Matriţa proteică iniţială, în prezenţa vitaminei C şi a glicogenului, atrage sărurile fosfocalcice. Aprovizionarea minerală implică un aport alimentar echilibrat, în care intervine vitamina D, precum şi existenţa locală a fosfatazei. Viaţa ţesutului osos constă din neîncetate remanieri chimice şi structurale. Identitatea reconstrucţiilor este asigurată de reglaje endocrine precise. Dacă lipseşte un singur factor, osul se fărîmiţează. Astfel, paratiroida reglează proporţia calcemiei şi a fosforemiei; hiperfuncţia acestei glande este urmată de creşterea cantităţii de calciu din plasmă pe seama oaselor devenite friabile. Estrogenul determină hipercalcemia (Benoît şi Clavert, 1941—46).

CELULELE CONJUNCTIVE. În 1906, Renaut şi Dubreuil au analizat morfologia elementelor ce intervin în cazul iritării ţesutului. Legăturile dintre celulele conjunctive şi cele sanguine au fost precizate, iar histofiziologii au pus bazele noţiunii de sistem reticulo-histiocitar.

Această noţiune apare ca un caz particular al fagocitozei, descoperită de Mecinikov (1882). Din 1904 pînă în 1914 diverşi autori au descris un proces de ultrafagocitoză care se exercită asupra unor particule coloidale inframicroscopice. Fenomenul este specific şi mereu aceleaşi celule îl prezintă: mai ales celulele conjunctive tinere şi cele ale stromei organelor hematopoetice. Acest sistem reticulo-endotelial, cum l-a denumit Aaschoff (1914), are „frontiere“ mobile: repetarea unor injectări coloidale într-un organism duce la marcarea celulelor care nu prezentau pînă atunci ultrafagocitoză. Este necesar deci să se admită un sistem restrîns în care această proprietate se manifestă încă de la prima administrare, precum şi un sistem extins şi un sistem extrem care intră în joc în etapele finale. Elemente disparate ale sistemului numit astăzi reticulo-histiocitar, histiocitele sînt categorii conjunctive şi sanguine puţin diferenţiate, înzestrate cu proprietăţi de apărare şi de hematoliză. Cercetări recente au evidenţiat faptul că elementele musculare striate, cultivate în prezenţa colinei, dobîndesc aptitudinile caracteristice ale sistemului.

HEMATIILE. Compoziţia celulară a sîngelui a fost precizată în cursul secolului al XIX-lea.

S-au descris diferite tipuri de globule albe şi au fost descoperite plachetele sanguine sau hematoblaştii. S-a reuşit să se numere hematiile şi globulele albe conţinute într-un milimetru cub de sînge şi să se stabilească procentul diferitelor leucocite (K. Vierordt, 1852; L.C. Malassez, 1872; Ehrlich, 1879, 1890). Geneza liniei roşii pornind de la eritroblaste nu mai este în discuţie, în timp ce a globulelor albe rămîne încă neprecisă.

În secolul al XX-lea aceste diferite elemente au fost analizate din punct de vedere structural şi funcţional.

Organizarea hematiei a putut fi studiată recent la microscopul electronic, în timp ce grosimea membranei a fost măsurată prin procedee fizico-chimice. S-a precizat starea cristalină a hemoglobinei care este o proteină globulară feruginoasă. În 1929, H.Fischer a lămurit compoziţia sa şi a realizat sinteza uneia dintre componenţii esenţiali, hemina. Structura tridimensională a hemoglobinei a fost descoperită recent de J.C.Kendrew şi M.F.Perutz, datorită perfecţionării tehnicii de difracţie a radiaţiilor X.

Biogeneza, soarta moleculei şi transformarea ei în pigmenţi biliari au fost, de asemenea, elucidate. S-au descoperit diferite tipuri de hemoglobine, specifice anumitor tipuri zoologice.

GRUPELE SANGUINE ŞI FACTORUL RHESUS. Importante realizări sînt legate de domeniul imunohematologiei, pentru care noţiunea de *grup sanguin* este esenţială. J. Bordet a pus în evidenţă aglutinarea globulelor roşii ale unei specii de către serul altei specii (heteroaglutinare, 1895). În 1900, K.Landsteiner descoperă izoaglutinarea, fenomen asemănător ce se produce în cadrul aceleiaşi specii. Observînd că serul unora dintre colaboratorii săi aglutinează hematiile altor oameni, el stabileşte cei doi aglutinogeni principali, A şi B, a căror întîlnire cu aglutininele corespunzătoare α şi β provoacă aglutinarea. Acest joc de incompatibilităţi explică accidentele constatate de mai multe secole în decursul unor transfuzii sanguine. Pe lîngă cele trei tipuri de sînge cunoscute — A, B şi 0 —, Jansky (1907) şi Moss (1910) au adăugat tipul AB. Astfel, la om sînt definite pentru grupe sanguine, notate după natura aglutinogenilor lor a căror prezenţă exclude aglutininele corespunzătoare din ser.

În 1914, Hirzfeld a stabilit că există diferenţe variabile în distribuirea grupelor sanguine printre colectivităţile umane şi a deschis calea folosirii lor în antropologie. În 1926, F. Bernstein demonstrează mecanismul exact al transmiterii mendeliene a grupurilor A, B, 0, întrevăzut încă din 1909 de E. von Dungern şi L. Hirzfeld. Genotipurile sînt în număr de 6; AB, AA, A0, BB, B0, 00, în timp ce fenotipurile se reduc la 4, în virtutea legii dominanţei. Grupa a II-a, care nu conţine aglutinogen, este un „donator universal". Grupurile secundare MN şi P au fost puse în evidenţă de Landsteiner şi Levine (1927); după 1940, Kell, Duffy, Lutheran şi Lewis au descoperit numeroase alte grupuri.

O altă descoperire importantă este constatarea făcută de Landsteiner şi Wiener (1939—40) cu privire la supraaglutinarea hematiilor umane la 85% dintre indivizii de rasă albă de către serul de iepure imunizat contra hematiilor de *Macacus rhesus;* astfel s-a dovedit prezenţa în anumite hematii umane a unui antigen identic cu cel de la *Macacus rhesus*, ceea ce a dus la denumirea de factor Rh. În anul următor, Levine a dovedit că apariţia unei incompatibilităţi faţă de acest factor explică patogenia bolii hemolitice a nou-născuţilor.

J. Bordet (1898—1901) a conceput un mecanism de hemoliză prin reacţia dintre hematii şi anticorpii specifici conţinuţi în anumite seruri ale altor specii; întotdeauna este necesar să fie prezent un intermediar, acesta fiind complementul. Detectarea anticorpilor apăruţi în urma unei invazii microbiene stă la baza reacţiei Bordet-Wassermann (1906) pentru sifilis.

LEUCOCITELE[6]. Dacă hematia nu este decît un fragment citoplasmic ce a suferit o îmbătrînire care l-a adaptat la situaţia de a nu mai consuma oxigenul pe care îl transportă, globula albă prezintă toate atributele morfologice şi funcţionale ale vieţii.

Enzimele leucocitare au fost izolate la începutul secolului al XX-lea (Fiessinger, după 1902): oxidaze, peroxidaze, proteaze, lipaze. Progresele histochimiei permit acum analiza componenţilor şi agenţilor proprietăţilor acestor celule.

Viaţa globulelor albe poate fi astăzi uşor observată datorită microcinematografiei cu contrast de fază. Înglobarea prăzii şi soarta acesteia apar puternic mărite la microscopul electronic. A început să se întrevadă faptul că numărul leucocitelor este supus anumitor reglări, încă necunoscute. O injectare de cortizon, sau de hormon antehipofizar corticotrop, antrenează o importantă scădere a numărului de elemente polinucleare eozinofile ((testul lui Thorn, 1948). Corticosuprarenala are o influenţă complexă asupra formulei şi cifrei leucocitare (Dougherty şi White, 1943).

---

[6] La noi, C. Dincă a realizat o remarcabilă lucrare de hematologie comparată, cu tehnici citochimice, asupra elementelor figurate din sîngele circulant şi din unele formaţii hematopoetice de la crap, broască, broască ţestoasă, fazan, şobolan, arici, cîine şi om.

O valoroasă lucrare citologică şi experimentală a efectuat I. Cantacuzino, asupra hematiilor, globulelor albe şi urnelor din lichidul celomic al unui vierme marin, *Sipunculus nudus.* — *I.S.*

Plachetele sanguine au fost filmate şi studiate în amănunt. Histochimia a stabilit absenţa oricărei substanţe nucleare în interiorul lor. Intervenţia plachetelor în coagularea sîngelui este din ce în ce mai bine cunoscută.

La mamifere, toate aceste celule au o viaţă destul de scurtă. Hematiile, lipsite de nucleu, sînt reînnoite continuu. Necesitatea acestei eritropoeze are o mare importanţă pentru înţelegerea anemiilor şi terapeutica lor.

Sînt necesari anumiţi aminoacizi, vitamine şi fier. Un element ia naştere în stomac împreună cu vitamina B_{12} căreia îi permite absorbţia şi împreună cu care formează „principiul“ lui Castle (1929); el se acumulează ca rezervă în ficat. Ca urmare, administrarea de extracte hepatice vindecă anemia (tratamentul lui Whipple, 1926). Eritropoeza pare a fi guvernată de un factor antehipofizar.

Globulele albe pătrund fără încetare în ţesuturile conjunctive, unde îşi exercită activitatea. Rapiditatea lor de reînnoire este ilustrată de faptul, observat în 1935, că în măduva osoasă omenească, numărul globulelor albe este de patru ori mai mare decît cel al globulelor roşii, în timp ce sîngele conţine de 700 de ori mai multe hematii decît leucocite. Wright (1906) consideră megacariocitul drept origine a plachetelor sanguine; acest fapt a fost recent demonstrat (1956), datorită observaţiilor efectuate pe viu în contrast de fază.

Metoda culturii *in vitro* a măduvii osoase, pusă la punct destul de recent, va permite obţinerea de informaţii mai sigure în ceea ce priveşte filiaţiile celulare. S-au făcut eforturi pentru a găsi legăturile de rudenie dintre cele 5 linii hematopoetice, dintre care trei iau naştere exclusiv în parenchimul mieloid.

PLASMA SANGUINĂ. Plasma este principala substanţă interstiţială fluidă a ţesutului sanguin. În cursul filogeniei animale, se observă constituirea unui mediu intern tot mai strict în ceea ce priveşte compoziţia chimică şi constantele sale fizico-chimice.

*P*h-ul din sîngele mamiferelor se menţine între 7,7 şi 7,8. Mecanismul de reglare este dublu: imediat, prin sisteme-tampon şi, mai tardiv, prin eliminarea bioxidului de carbon (la nivelul plămînilor) şi a acizilor sau bazelor (prin rinichi).

Compoziţia minerală este însoţită de schimburi ionice între globule şi plasmă. Homeostazia componenţilor chimici, respectiv constanţa lor cantitativă precisă în sînge, se datoreşte reglărilor endocrine în care intervin factori antagonişti.

Proteinele din plasmă au fost fracţionate prin precipitare şi prin electroforeză.

Fracţiunea *proteinică* conţine mai mult de jumătate din ansamblu. Fiind de origine hepatică, ea este responsabilă de presiunea osmotică a plasmei.

Fracţiunea *globulinică* (30—40% din protide) este formată din molecule mai mari, care se împart în:

a) Globulinele α, formate din lipoproteine şi glicoproteine provenite din ţesutul conjunctiv;

b) Globulinele β, sintetizate de ficat, însoţite de cea mai importantă fracţiune lipoprotidică a plasmei; acestea transportă estrogenii şi carotenoidele;

c) Globulinele γ, dintre care unele au o greutate moleculară de 1 milion, sînt foarte importante datorită rolului lor imunologic; sinteza lor are probabil loc în sistemul reticulo-histiocitar, pornind de la aminoacizi.

Anumite globuline au o mare importanţă fiziologică: fibrinogenul, proteinele coagulării sanguine (protrombina, factorii antihemofilici, acceleratori), proteinele responsabile de caracterele serologice (izoaglutinine, proteinele complementului), enzimele proteice, hormonii proteici şi în special cel tiroidian; hipertensinogenul; şi, în sfîrşit, properdina care pare a fi un factor de imunitate natural.

COAGULAREA SÎNGELUI. Coagularea reprezintă moartea ţesutului sanguin. Acest proces a putut fi studiat la microscopul electronic, după ce în prealabil fusese observat la microscopul optic. Cunoaşterea mecanismelor chimice complexe începe cu W. Henson (1771). Trama filamentoasă este denumită fibrină; antecedentul său, fibrinogenul, precum şi trombina, enzima acestei transformări, sînt descoperite în 1876 de Hammarsten. Aceste date fundamentale sînt încorporate într-o teorie a fermentaţiei formulată de Morawitz (1904). Fibrina ia naştere prin transformarea fibrinogenului de către trombină, în urma acţiunii unei tromboplastine asupra protrombinei plasmatice, în prezenţa sărurilor de calciu.

În urmă cu vreo 25 de ani au fost descoperiţi numeroşi factori noi care intervin în coagulare. Acţiunea lor se combină cu cea a fibrinogenului[7] (factorul I), a protrombinei (factorul II) (W.H.Howell, 1910), a tromboplastinei tisulare (factorul III) (Howell, 1912) şi cu cea a calciului (factorul IV) (Arthus şi Pagès, 1890). După 1942, fenomenul de fibrinoliză, cunoscut din 1889, a fost atent studiat de Astrup, Tagnon, Mullertz, von Kaula şi Mac Farlane.

Printre factorii noi descoperiţi trebuie citaţi: a) globulina antihemofilică A (factorul VIII) (Patek şi Stetson, 1937), al cărui rol a fost precizat de Quick în 1947; b) proaccelerina (factorul V) (Owren, 1947), precursorul inactiv al accelerinei (factorul VI); c) proconvertina (factorul VII) (Koller şi Owren, 1947); d) noi principii antihemofilice sau protromboplastice (principiul A fiind globulina antihemofilică a lui Quick); principiul B (factorul Christmas al lui Briggs, sau plasma tromboplastină componentă, sau factorul IX: Aggeler, 1952); principiul C (P.T.A. sau plasma tromboplastină antecedentă, Rosenthal, 1953); principiul D (factorul Hageman, 1954); principiul E (van Creveld şi Paulssenn, 1951) liberat de plachetele sanguine. Deficitul acestor principii atrage după sine o prelungire considerabilă a timpului de coagulare.

În 1953, Biggs şi Douglas au descris testul de formare a protromboplastinei care permite, în sfîrşit, studiul primei faze a coagulării. În 1954, Ratnoff demonstrează rolul factorului „contact". Aceste rezultate, reluate de Margolis în 1957, deschid o nouă cale cercetărilor. În 1956, Graham şi Hougie dovedesc că proconvertina reprezintă asocierea a doi factori, factorul Stuart (X) şi factorul VII. Lipsa anumitor factori determină tulburări ale coagulării care au fost bine clasificate în zilele noastre.

---

[7] În 1954, un comitet internaţional a fost însărcinat cu standardizarea nomenclaturii factorilor de coagulare. S-a stabilit un acord asupra sistemului numeric citat mai sus. Factorii Hageman, P.T.A. şi stabilizatorul fibrinei încă nu au fost clasificaţi.

Fenomenul complex al coagulării se petrece în trei faze succesive: tromboplastinoformarea, trombinoformarea și fibrinoformarea.

Existența unei serii de inhibitori fiziologici permite explicarea faptului că sîngele care circulă nu se coagulează. Printre aceștia se numără antitromboplastina, a cărei existență a fost dovedită de Tocantins, antitrombina plasmatică, ce nu intervine decît după formarea fibrinei (W.H. Howell, 1918) și heparina, izolată inițial din ficat (Howell, 1919), de unde îi vine și numele, dar care există, de fapt, în toate țesuturile. Howell consideră că heparina este cea care asigură necoagulabilitatea sîngelui circulant.

C. METABOLISME ȘI NUTRIȚIE

Aporturile nutritive satisfac necesitățile organismului în substanțe organice și anorganice și în energie. În domeniul nutriției, secolul al XX-lea a continuat opera secolelor anterioare, deschizînd însă și căi noi, fecunde. Pe lîngă cercetările asupra metabolismului celular, analizate anterior (pag. 621—628), s-au adăugat studii asupra metabolismului general al organismului.

METABOLISMELE. La homeoterme, metabolismul bazal, reprezentînd cheltuielile minime ale organismului în repaus, a constituit obiectul unor măsurători precise (M.Rubner, 1902; F.G.Benedict, 1907 și 1933; E.F. du Bois, 1924 etc.), care le-au continuat pe cele din secolul al XIX-lea (vol.III, pag. 493, 597). Acest metabolism depinde de numeroși factori și mai ales de starea de funcționare a tiroidei.

Numeroase cercetări fiziologice și biochimice au fost consacrate diverselor metabolisme: hidric, mineral, glucidic, lipidic, protidic (pag. 624—628). Au fost determinate necesitățile și consumurile paralel cu lămurirea treptată a etapelor intermediare, în care ficatul joacă adesea un rol capital.

NUTRIȚIA. Necesitățile rației alimentare animale sînt triple: cantitative globale, de echilibru corect între substanțele integrate și calitative. Acestea din urmă, fiind obligatorii, au dus la cercetări prețioase. S-a stabilit, astfel, că organismul trebuie să primească, prin alimentație, anumiți aminoacizi a căror sinteză nu o poate efectua singur. Astfel, cercetările asupra triptofanului sînt, pe drept cuvînt, clasice (pag. 432—433). Dar descoperirea cea mai importantă din acest domeniu este, desigur, cea a vitaminelor.

Inițiată datorită recunoașterii carențelor specifice, această descoperire s-a realizat pe cale medicală, prin cercetări experimentale și prin lucrările chimiștilor. Expunerea mai detaliată a faptelor fiind efectuată în altă parte[8], ne vom mărgini aici să amintim importanța excepțională a acestor produse pentru organismul animal. Deși terminologia a rămas empirică iar cunoașterea lor este încă incompletă, vitaminele — dintre care multe au fost preparate prin sinteză — dețin un loc important în lista componenților biochimici.

---

[8] Importante completări asupra acestor subiecte aduc studiile lui A. Ihde (pag. 438—442) și R. Debré și G. Desbuquois (pag. 866—868).

FIZIOLOGIA DIGESTIEI. Mecanismele digestiei şi ale asimilaţiei au fost lămurite treptat, mai ales datorită lucrărilor de histofiziologie şi de biochimie.

La nivelul tubului digestiv, s-a reuşit să se precizeze etapele succesive ale proteolizei proteinelor ingerate, prin lanţuri enzimatice gastrointestinale. Au fost precizate compoziţia şi acţiunea principalelor sucuri digestive, cunoscute anterior. De asemenea, au fost puse în evidenţă numeroase enzime: lactază, lipaze, proteaze, peptidaze, labfermentul (cheag) (Bayliss şi Starling, 1902; Edkins, 1906; Agren, 1934 etc.) şi s-a detectat acţiunea diverşilor hormoni care acţionează în diferite faze ale mecanismului digestiv. Studiul experimental al acestui mecanism, atît de strălucit abordat de I.P.Pavlov, care a perfecţionat metoda fistulelor gastrice şi pancreatice experimentale (1890, 1907), a fost continuat de A.J.Carlson (1912), A.C. Ivy şi J.I. Farrell (1925), S.G. şi H.G.Wolf (1943) etc. W.B.Cannon (1911), R. Glénard (studiul cinematografic al mişcărilor intestinului, 1913), W.C.Alvarez (1922) etc. au precizat factorii mecanici ai digestiei.

Structura ficatului aflat pe diferite trepte ale evoluţiei, biochimia şi funcţionarea lui au constituit obiectul a numeroase cercetări. S-a lămurit biligeneza, mai ales originea pigmenţilor biliari, pornind de la hemoglobină (Windaus, Wieland, Diels, H.Fischer, R.Robinson etc.).

SECREŢIA URINARĂ. Structura tubului urinifer era cunoscută încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea. S-a precizat vascularizarea organului excretor. Au fost enunţate legile eliminărilor renale (constanta lui Ambard, 1910). S-a cercetat rolul diverselor segmente ale tubului urinar pe baze experimentale comparate (Gérard şi Cordier, 1930—34; Feyel, 1939), care au dus la anularea opoziţiei celor două teorii, filtrarea-secreţie şi filtrarea-resorbţie, emise în secolul al XIX-lea. Glomerulul produce o urină primară (micropuncţia lui Wearn şi Richards, 1924) care reprezintă un ultrafiltrat; acesta este îmbogăţit prin secreţia primului tub contort, dar şi sărăcit prin resorbţiile ce au loc. Celulele tubului urinifer funcţionează prin procese de fosforilare. A putut fi calculat coeficientul de epurare plasmatică a diferitelor substanţe (clearance-ul lui Van Slyke, 1921).

Cantitatea de apă filtrată zilnic de glomerulele umane a fost măsurată obţinîndu-se valoarea de cca 180 litri. Cea mai mare parte este resorbită în mod obligatoriu; restul, pînă la 1 1/2 litru normal eliminată, este reluată facultativ datorită unei reglări hipotalamo-posthipofizare a cărei nefuncţionare provoacă poliuria din diabetul insipid.

S-a studiat tranzitul unor ioni marcaţi artificial (Morel, 1953) şi s-a acordat o importanţă crescîndă gradientului presiunii osmotice cortico-papilare (Hirz, 1952) şi noţiunii de concentrare prin contracurent.

FIZIOLOGIA RESPIRAŢIEI. Pe lîngă cercetările asupra respiraţiei celulare (pag. 624—627), numeroase alte studii au fost îndreptate asupra aspectului biochimic al respiraţiei la nivelul organismului (R.Peters, 1912; J.O.Christiansen, 1914; O. Meyerhof, 1918; H.Hartridge şi F.Roughton, 1923; R.Gesell, 1925; etc.). Alţi cercetători au continuat studiul fiziologiei respiraţiei (J.S.Haldane şi J.G.

Gillies, 1905; C.Heymans, 1929; etc.). S-a studiat, de asemenea, mecanica respiratorie; menţionăm mai ales spirometrul lui Tissot şi aparatul lui C.G.Douglas pentru determinarea mărimii schimburilor respiratorii. Progresele aviaţiei şi ale scufundărilor submarine se găsesc la originea unor cercetări fecunde, de un mare interes teoretic şi practic.

FIZIOLOGIA CIRCULAŢIEI. Am menţionat remarcabilele succese obţinute de biochimie în studiul compoziţiei şi al proprietăţilor sîngelui (pag. 645—651). Inima şi sistemul circulator au constituit, pe de altă parte, obiectul unor studii histologice, anatomice şi fiziologice foarte amănunţite. Folosirea cinematografului (L. Braun, 1897), a galvanometrului cu coardă şi a electrocardiografului lui W. Einthoven (1901—1904) au dus la progrese rapide în cunoaşterea ritmului şi a mecanismelor cardiace.

Analiza automatismului cardiac a beneficiat de descoperirea nodului lui Keith şi Flack (1906—1907), şi a lui Tawara (1906), care au completat descrierile histologice ale ţesutului nodal al lui Purkynje şi ale fasciculului lui His. Încă din secolul al XIX-lea erau cunoscuţi nervii moderatori şi acceleratori ai inimii, vasomotricitatea, unele fenomene ce intervin asupra presiunii arteriale, zona reflexogenă cardioaortică şi factorii care pun în joc centrul respirator bulbar. Aceste noţiuni au fost amplu dezvoltate în secolul al XX-lea. La cunoştinţele precedente (C. Heymans, 1929) s-a adăugat confirmarea existenţei, la nivelul bifurcării carotidiene, a unei regiuni bogat inervate şi sensibile la modificările presiunii şi compoziţiei chimice a sîngelui. S-au făcut încercări de a extrage substanţele chimice care intervin în reglarea automatismului cardiac.

Cercetările au demonstrat frecvenţa anastomozelor arteriovenoase sub formă de glomi neurovasculari; funcţionarea lor a fost integrată în cea a dinamicii circulatorii a capilarelor sanguine, care a constituit obiectul unor cercetări precise, mai ales datorită metodei de observare directă în camera lui Clark. A. Krogh (1904—1922) a arătat că vasomotricitatea capilarelor depinde de activitatea organelor irigate. Au fost identificaţi factorii fizico-chimici care acţionează asupra pereţilor capilari (histamina: Dale şi Richards, 1918—19; vitaminele C şi P; cortizonul). În ceea ce priveşte schimburile ce au loc la nivelul capilarelor, utilizarea radioizotopilor a permis o mai bună analizare a lor[9].

STRUCTURA ŞI FIZIOLOGIA MUSCULARĂ. Diferenţierea musculară a fost studiată în secolul al XIX-lea din punct de vedere morfologic. Striaţia muşchiului voluntar a fost descrisă pe larg. S-a stabilit, de asemenea, că principalul combustibil energetic este glucoza.

Datorită noilor mijloace de amplificare şi de observare a curenţilor de acţiune, secolul al XX-lea şi-a format o imagine exactă asupra acestor probleme. Excitarea determină depolarizarea, iar această depolarizare, în care intervin ionii de potasiu, antrenează modificări de permeabilitate[10]. Metabolismul glicolitic a fost intens studiat şi s-a descoperit intervenţia fosfagenului şi a acidului adenozintrifosforic; s-au constatat fenomene de fosforilare. Acidul lactic se formează la sfîrşitul proceselor anaerobe; prin ardere, o parte din el este transformată în apă şi bioxid de carbon, iar cealaltă parte serveşte la reconstituirea rezervei de glicogen şi acid lactic; acestea constituie unul dintre aspectele iniţiale şi fundamentale ale metabolismelor intermediare abordate în secolul al XX-lea. Numeroşi fiziologi şi biochimişti de mare talent au participat la elucidarea acestor probleme dificile: W.M. Fletcher şi F.G. Hopkins (1907), A.V. Hill (1911—38), O.F. Meyerhof (1918—20), B. Katz, E. Engelhardt etc. Cercetările sînt în prezent orientate spre studiul organizării moleculare a miofibrilei.

---

[9] George Palade a adus importante contribuţii la înţelegerea mecanismului permeabilităţii capilarelor sanguine (a evidenţiat fenomenul de transport al macromoleculelor prin celulele endoteliului capilar pe calea unor vezicule speciale). — *Gr. S.*

Miozina contractilă este o combinaţie de miozină şi actină; aceste două substanţe au fost separate *in vitro*, apoi, prin reunire, s-a obţinut contracţia lor. Actina există sub două forme, una alungită şi alta globulară, care explică proprietăţile mecanice ale acestei substanţe (J.T. Edsall, 1930; H. Weber, 1934; T. Boronowski, 1939; A. Szent-Györgyi, 1948 etc.). Studiul recent al miofibrilei la microscopul electronic a permis descrierea foarte sugestivă a dispunerii componenţilor chimici în raport cu striaţia. Mioglobina, proteina mult timp confundată cu hemoglobina, se comportă ca o rezervă de oxigen pentru muşchiul cu acţiune lentă. Ea a fost izolată de Theorell în 1932, iar structura sa tridimensională a fost stabilită recent de J.C. Kendrew şi M.F. Perutz.

D. COORDONĂRI ORGANICE

Pentru a menţine viaţa într-un organism, sînt necesare interacţiuni între diferitele organe şi diversele funcţii, iar aceste interacţiuni reprezintă adevărate constrîngeri. Metazoarele, şi mai ales formele foarte evoluate, prezintă cerinţe care sînt preţul organizării lor superioare. Secolul XX a stabilit reglările care menţin această „homeostazie“ indispensabilă (W.B.Cannon, 1926). Printre vertebrate, majoritatea acestora sînt de natură nervoasă sau hormonală: menţinerea constantă a *p*H-ului la mamifere şi a unei temperaturi stabile la homeoterme, de exemplu la păsări şi mamifere[11].

Recent s-a putut însă constata, cercetîndu-se hibernarea artificială, rezistenţa ţesuturilor la o scădere a temperaturii considerată pînă acum nocivă. Intermediare între homeoterme şi poichiloterme, animalele hibernante reprezintă un material preţios pentru studiul funcţiilor în timpul procesului hibernării. Vom mai aminti şi mecanismele care asigură menţinerea automatismului cardiac şi a regularităţii mecanismului respirator.

---

[10] Unul dintre promotorii cercetărilor electromiografice a fost I. Atanasiu (1868—1926). — *Gr. S.*

[11] E.A. Pora a evidenţiat importanţa parametrului „echilibru al concentraţiilor ionice“ (homeorapiei) în cadrul general al homeostaziei (termen modificat, recent, în cel de *ropie*). — *Gr. S.*

1. Coordonări neurovegetative

Sistemul simpatic este cunoscut de mai multe secole. Rolul său vasomotor a fost evidenţiat încă din secolul al XVIII-lea de anumite fapte precise; mai tîrziu, Cl.Bernard a efectuat experienţe clasice asupra condiţionării activităţii salivare şi asupra musculaturii irisului. În secolul al XX-lea, nervul simpatic a fost definit ca „nervul care se găseşte peste tot“, ceea ce înseamnă că influenţa sa se exercită asupra tuturor celulelor organismului. J.N.Langley (1921) a deosebit la nervul simpatic două părţi antagoniste: ortosimpaticul şi parasimpaticul. Primul accelerează bătăile inimii, în timp ce al doilea le încetineşte. S-a întreprins studiul anatomic şi funcţional al dispozitivelor lor nevraxiale şi al centrilor medulari şi bulbari. Mai ales hipotalamusul este cel căruia i s-a atribuit o importanţă majoră. Perioada experimentală la nivelul acestei regiuni începe cu lucrările lui J.P.Karplus şi A.Kreidl (1909—12)[12].

S-a constatat că stimularea pereţilor celui de-al treilea ventricul provoacă modificări ale ritmului cardiac, ale presiunii sanguine şi ale transpiraţiei. Leziunile lor provoacă diabetul insipid (H.W. Cushing, 1912; A.E. Frank, 1912; J.H. Biggart şi G.L. Alexander, 1939). De asemenea, a fost pus în evidenţă rolul diencefalului în reglarea termică, în metabolismul apei, în producerea somnului, în provocarea epilepsiei experimentale, în formarea caracterului, a emoţiei, a plăcerii şi durerii (W.R. Hess etc.). Aria vegetativă a fost recent extinsă asupra întregii lungimi a substanţei reticulate din trunchiul cerebral.

Conexiunile neuroendocrine centrale se efectuează la nivelul hipotalamusului. Ele realizează îndeosebi un cuplu funcţional hipotalamo-posthipofizar care reglează metabolismul apei. O altă conexiune intens studiată este cea a diencefalului cu antehipofiza pe o cale esenţial vasculară[13]. În hipotalamus au fost descoperiţi şi descrişi următorii centri: tireostimulant, sexual şi corticosuprarenal. Hormonii diverselor glande endocrine acţionează asupra acestei regiuni căreia îi reglează funcţionarea. Această legătură neuroendocrină este pusă în funcţiune prin reflexe.

Celulele nervoase hipotalamice sînt capabile de o activitate secretoare deosebit de evidentă la anumiţi peşti şi în ţesutul nervos al nevertebratelor. Această neurosecreţie reprezintă un adevărat proces endocrin care se manifestă ca atare în anumiţi neuroni.

Folosind metoda colorării specifice cu hematoxilină Gomori, Bargmank (1949—50) a pus în evidenţă scurgerea acestei secreţii spre lobul posterior al hipofizei, care este un focar de acumulare a unor principii de origine hipotalamică. Neurosecreţia înspre lobul anterior a fost mai puţin studiată. S-a dovedit fiziologic mai ales existenţa unui transfer neurohormonal de la hipotalamus spre hipofiză (condiţionarea ovulaţiei).

---

[12] D. Danielopolu (care a trăit între anii 1884 şi 1955) arată că între sectoarele vegetative simpatic şi parasimpatic nu există un antagonism absolut, ci relaţii de interstimulare. El demonstrează totodată că o serie de substanţe medicamentoase, în doze caracteristice, acţionează *nespecific*, prin intermediul factorilor naturali antagonişti interstimulatori (mediatori, ioni, hormoni etc.), punînd astfel bazele farmacodinamicii nespecifice. — *Gr. S.*

[13] În 1933, Gr. Popa şi Unna Fielding au descris sistemul port hipotalamus-antehipofizar, dar sensul curentului sanguin a fost precizat de Wislocki şi King. — *Gr. S.*

Încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea o serie de rezultate anatomapatologice au scos în evidenţă faptul că reglarea somnului trebuie să fie localizată în păturile profunde ale trunchiului cerebral şi mai ales în hipotalamus.

Date experimentale noi au confirmat această concepţie (W.R. Hess, 1925; Ranson, 1925). Determinarea somnului sau a veghei este supusă unor distribuţii specifice (Bremer, 1935). Substanţa reticulată a trunchiului cerebral (Magoun şi Moruzzi, 1949) intervine de asemenea. Dar concepţia somnului „subcortical" este prea exclusivă; cortexul are un rol la deşteptare.

Astăzi se precizează legăturile reciproce strînse dintre sistemul vegetativ şi sistemul vieţii de relaţie; pe de o parte, substanţa reticulată poate fi stimulată prin influxuri senzoriale (care îşi pierd, astfel, specificitatea), ca şi prin variaţii ale compoziţiei sanguine (adrenalină, tensiunea CO_2, agenţi farmacodinamici); pe de altă parte, ea controlează activitatea cortexului şi influenţează reflexele vieţii de relaţie.

2. Coordonări endocrine

Descoperirile din acest domeniu au avut o mare importanţă teoretică, precum şi consecinţe fericite în terapeutica umană. Secolul al XX-lea a fost martorul unor progrese spectaculoase, datorită preparării chimice a unor hormoni care au permis o experimentare mult mai precisă. În acest secol s-au pus bazele endocrinologiei sexuale şi s-a demonstrat unitatea mecanismelor hormonale la vertebrate. Mai recent a fost pusă în evidenţă existenţa unor corelaţii endocrine la nevertebrate.

ÎNCEPUTURILE ENDOCRINOLOGIEI. Endocrinologia a fost fundamentată în a doua parte a secolului al XIX-lea. În 1855, Cl. Bernard a stabilit rolul anumitor glande în menţinerea compoziţiei chimice a mediului intern. El a descoperit funcţia glicogenică a ficatului, care constituie primul exemplu de secreţie internă (vol. III, pag. 485)[14]. Brown-Séquard, după ce a experimentat pe el însuşi extracte injectabile de testicule (1889—91), a prevăzut multiplele rezultate viitoare şi a pus în lumină noţiunea de receptor.

În timp ce individualitatea acestui domeniu al ştiinţei se contura, cercetătorii aduceau numeroase rezultate noi. În timp ce clinicienii constatau consecinţele deficienţelor glandulare sau ale hiperfuncţionării (vol. III, pag. 493—494), fiziologii încercau să inducă tulburări la animale prin extirparea glandei, pe care apoi să le compenseze prin grefe (vol. III, pag. 493—494).

---

[14] De fapt, întemeierea experimentală a endocrinologiei se datoreşte lui Berthold care, prin grefe testiculare la clapon, a demonstrat că în organism există şi alte corelaţii decît cele nervoase. Ulterior, Cl. Bernard a opus secreţia glicogenică (de fapt: eliberare de glucoză în sînge, de către ficat) secreţiei biliare, *externe*. Încă înainte de Berthold, J. Müller a introdus conceptul de „glandă vasculară sanguină" pe considerente structurale (lipsă de canal excretor, bogată vascularizaţie). În 1855, Addison a prezentat primele documente anatomoclinice asupra însemnătăţii vitale a acestor glande („maladia bronzată", cu pronostic nefast, prin distrugerea tuberculoasă a glandelor suprarenale). — *V.S.*

Secolul al XX-lea va pune mai întîi bazele unei teorii solide[15]. În 1904, W.M.Bayliss şi E.H.Starling au studiat acţiunea unor excitanţi, ca secretina, care este un mesager chimic elaborat de mucoasa duodenală şi care, în doze infinitezimale, declanşează secreţia internă a pancreasului; termenul de „hormon", creat de W.B.Hardy, a fost adoptat de Starling. Cîţiva ani mai tîrziu, în faţa excepţionalei dezvoltări a endocrinologiei, E.Gley precizează condiţiile stricte pe care o glandă trebuie să le îndeplinească pentru a fi inclusă în acest domeniu al biologiei[16].

Exceptînd ficatul, care este un adevărat depozit metabolic, glandele endocrine sînt: o porţiune din pancreas, tiroida, paratiroidele, suprarenalele cu regiunea lor corticală şi cu cea medulară, hipofiza anterioară şi posterioară, anumite elemente testiculare, ovariene şi placentare[17].

BIOCHIMIE HORMONALĂ. Izolarea hormonilor şi obţinerea lor în stare pură pe seama unor produse biologice au permis stabilirea compoziţiei lor. În continuare, chimiştii au făcut eforturi pentru a realiza sinteza lor şi a reconstitui etapele elaborării lor în organism.

Cercetările efectuate asupra polipeptidelor (insulină, parathormon, principii posthipofizare) s-au lovit de dificultăţi legate de labilitatea acestor compuşi şi de cunoştinţele mult timp rudimentare asupra compoziţiei exacte a acestui grup chimic. Substanţele antehipofizare sînt holoproteine (somatotropină, prolactină, corticostimulină) sau glucoproteine (tireotropină, hormon foliculostimulant, hormon luteinizant). Tiroxina este un derivat al tirozinei, iar adrenalina, al tiraminei. În sfîrşit, hormonii sexuali şi cei corticosuprarenali au un nucleu ciclopentanofenantren identic celui al colesterolului.

Stereochimia joacă un rol important în activitatea fiziologică. Chimiştii au reuşit să creeze substanţe noi care, fără a avea structura hormonilor naturali, posedă aceleaşi proprietăţi fiziologice. Existenţa lor ridică o problemă nerezolvată încă în privinţa legăturii dintre valoarea funcţională şi o structură chimică strict definitivă. Fiind transportaţi de sînge, hormonii sînt adesea inactivaţi de ficat şi pot fi eliminaţi prin rinichi.

[15] Analiza noastră se va referi mai ales la proprietăţile biochimice şi fiziologice ale hormonilor vertebratelor, în timp ce alte aspecte ale endocrinologiei sînt expuse în alte capitole. R. Debré şi G. Desbuquois prezintă principalele etape ale descoperirii hormonilor vertebratelor superioare (pag. 839—856) şi descriu avîntul remarcabil al terapeuticii hormonale (pag. 898—902). A. Tétry analizează rezultatele obţinute în studiul endocrinologiei nevertebratelor (pag. 685—686). Avîntul studiilor efectuate asupra hormonilor vegetali este expus de J.F. Leroy (pag. 755—761).

[16] C.I. Parhon a publicat în 1909 (Paris), în colaborare cu M. Goldstein, primul tratat de endocrinologie din lume, sub titlul *Les secrétions internes*. — *Gr. S.*

[17] Termenul de „endocrinologie" a fost pus în circulaţie între 1910 şi 1915, de către L. Levi şi N. Pende. Încă în 1900, C.I. Parhon a considerat că glandele endocrine joacă un rol fundamental în toate procesele organice, ca şi în determinismul constituţiei somato-psihice şi a pledat pentru înţelegerea studiului hormonilor ca o ştiinţă biologică fundamentală. În ultimele decenii, endocrinologia a devenit treptat *un punct de vedere* asupra corelaţiilor şi reglărilor biochimice din organismele vii. — *V.S.*

BIOGENEZĂ HORMONALĂ[18]. Formarea hormonilor a fost analizată, mai ales la nivelul tiroidei şi al corticosuprarenalei, datorită utilizării izotopilor radioactivi. Problema histologică a determinării parenchimului secretor s-a dovedit adesea foarte complexă.

În antehipofiză, elementele sînt destinate unei specializări secretoare; Herlant, folosind o metodă de ultracentrifugare diferenţială, a izolat fiecare tip de granulaţie, extrăgîndu-i principiul activ. Observaţii analoage au fost efectuate şi pentru „insulele“ lui Langerhans din pancreas şi pentru corticosuprarenală.

Uneori se poate deosebi starea de repaus de cea de activitate a celulelor glandulare, după morfologia lor (de exemplu, pentru tiroidă). Dealtminteri, anumiţi factori modifică structura glandulară.

În cazul tiroidei, hipofizectomia, administrarea de hormon tiroidian şi lipsa iodului duc la obţinerea unor imagini de repaus; după administrarea tireostimulinei sau a unor substanţe antitiroidiene care provoacă un efort „în gol“, aspectul devine invers. În cazul corticosuprarenalei, hipofizectomia provoacă regresul parenchimului regiunilor mijlocie şi internă, în timp ce injecţia, intoxicaţiile, infecţiile, ca şi banala vaccinare, determină o hipertrofie reacţională care poate duce uneori la slăbirea organismului.

Anumite substanţe paralizează producerea unui hormon (antitiroidiene: tioureea, aminotiazolul, tiouracilul); altele lezează parenchimul secretor, ca în cazul aloxanului care atacă celulele insulino-secretoare ale pancreasului.

ACŢIUNI HORMONALE. Prin acţiunea lor asupra receptorilor, hormonii sînt mai bine definiţi decît prin sursele lor, deoarece unii dintre ei pot fi elaboraţi la nivelul unor celule secretoare diferite.

1) Hormonii *mitogeni* provoacă multiplicări celulare, care duc la creşterea generală a individului (tiroxină etc.), sau la proliferări localizate la un singur receptor (acţiunea foliculinei asupra epiteliului vaginal şi a parenchimului mamar).

2) Hormonii *morfogeni* condiţionează aspectul general al individului sau structura unui receptor special. Astfel, principiile genitale antrenează dimorfismul corpului în funcţie de sex şi acţionează asupra structurilor tractusului genito-mamar.

3) Hormonii *fiziogeni* reglează funcţionarea reactivilor. Printre aceştia, enumerăm: secretina, care determină excreţia unor acini pancreatici; prolactina, care induce secreţia

---

[18] După cum se ştie, activităţi endocrine au şi alte structuri glandulare sau neglandulare. Încă în secolul al XVIII-lea, Th. de Borden afirmase corelaţia pe cale umorală-sanguină a părţilor din organism. Această concepţie endocrină *omnitisulară* a constituit „ipoteza de lucru“ a şcolii lui C.I. Parhon (care a studiat, între altele, endocrinologia glandelor salivare, a timusului etc.). Dealtfel, precursorul endocrinologiei româneşti, Al. Vitzu, a efectuat, la sfîrşitul secolului al XIX-lea, cercetări experimentale asupra secreţiei interne a rinichilor. Concepţiei omnitisulare i se opune acea *localist-organică*, după care numai *anumite* organe au secreţie internă. Un organ controversat a fost epifiza (pineala), considerată de C.I. Parhon ca un organ endocrin; Şt. Milcu şi I. Milcu au izolat din acest organ pinealina (hormon hipoglicemiant) şi ca factori antigonadotropi; S. Pavel a izolat o vasotocină, în timp ce autori americani au izolat melatonina, serotonina etc. — *V. S.* şi *Gr. S.*

glandei mamare; foliculina, care stimulează contracţia muşchiului uterin. Pe lîngă subordonarea sa nervoasă, presiunea arterială este influenţată şi de hormonii medulo- şi corticosuprarenali.

4) Hormonii *metabolizanţi*, care guvernează echilibrul chimic al mediului intern. Metabolismul bazal este reglat de tiroidă; cel al apei, de către posthipofiză, tiroidă, estrogen şi, indirect, de corticosuprarenală; cel al ionilor de sodiu şi potasiu, de către corticosuprarenală; cel al calciului, de către paratiroidă şi foliculină; cel al glucidelor, de către insulina hipoglicemiantă şi hormonul somatotrop, de tiroxină, cortizon şi glucagon, care sînt hiperglicemiante; cel al lipidelor şi protidelor, de către hipofiză, tiroidă şi corticosuprarenală. Prin importanţa reglărilor pe care le asigură, pancreasul endocrin, corticosuprarenala şi paratiroidele sînt indispensabile vieţii.

5) În afară de existenţa noastră organică, instinctul, psihismul şi caracterul depind, de asemenea, de hormoni. Soulairac (1947) a demonstrat că apetitul glucidic este supus unui mecanism endocrin complex, în care intervin pancreasul insular, tiroida şi corticosuprarenala, sub controlul hipotalamo-hipofizei. Impulsul sexual are la origine secreţiile hormonale ale glandelor genitale. Instinctul matern se dovedeşte a avea acelaşi determinism, ca şi secreţia lactată: ele sînt comandate de prolactină. Mînia şi teama se găsesc sub influenţa adrenalinei şi a hormonului tiroidian, care acţionează alături de sistemul nervos. Factorii endocrini par a mări sensibilitatea selectivă faţă de anumiţi stimuli externi[19].

Studiul comparativ al proceselor endocrine la vertebrate a arătat că hormonii sînt lipsiţi de specificitate sistematică (J.F.Gudernatsch, 1912; R.Kehl, 1929)[20]. Dozele necesare pentru a obţine un răspuns sînt minime, de ordinul miimilor de miligram[21].

COORDONĂRI ENDOCRINE. Funcţionarea endocrină se dovedeşte a fi ierarhizată în etaje superior coordonate. Anumite glande, cum ar fi medulosuprarenala, răspund la excitaţii nervoase; dar majoritatea acestor glande sînt supuse acţiunii calitative şi cantitative ale unui mesager chimic endogen, detectabil în mediu şi în excreţii. Necesitatea de hormoni a organismului excită sursa, în timp ce un exces de hormoni o inhibă (R.Courrier). Echilibrul glandulohumoral constituie, astfel, un adevărat „servomecanism“, supus controlului hipofizei.

Hipofiza reprezintă etajul de comandă superior, adică „creierul vegetativ“, de unde pornesc axele funcţionale: hipofizotiroidiană, hipofizocorticosuprarenală, hipofizogenitală. Hipofiza răspunde la factori endocrini şi nervoşi. Primii reglează necesităţile de hormoni secretaţi sub influenţa stimulinei specifice, iar ceilalţi factori duc la considerarea diencefalului şi hipofizei drept un sistem „cuplat". Controlul hipotalamic al activităţii prehipofizare pare să se exercite pe cale vasculară locală (vezi pag. 655)[22].

---

[19] Importante precizări cu privire la influenţele exercitate de hormoni asupra centrilor nervoşi au adus Gr. Benetato şi col. — *Gr. S.*

[20] Cercetările de biochimie a hormonilor polipeptidici şi proteici au arătat recent că există diferenţe de structură şi compoziţie chiar între specii apropiate. Pe de altă parte, s-a constatat, bunăoară, că numai hormonul de creştere, extras din hipofiza de om şi de maimuţă, este eficace la om. Există şi diferenţe antigenice între hormoni de provenienţă diferită, ceea ce creează anumite dificultăţi terapeutice. — *V. S.*

[21] La om, necesarul pentru unii hormoni poate fi şi de ordinul cîtorva miligrame/zi. — *V. S.*

APARIŢIA ENDOCRINOLOGIEI SEXUALE A VERTEBRATELOR. Se ştia de mult timp că, în afara activităţii reproducătoare, glandele sexuale au o influenţă asupra tractusului genital şi se stabilise că acesta involuează după castrare. Totuşi, mecanismul unei astfel de acţiuni, adică mijloacele prin care ovarul şi testiculul influenţează starea căilor genitale şi a organelor sexuale externe, era cu totul necunoscut. O serie de caractere sexuale secundare au fost definite încă din secolul al XVIII-lea, de W.Hunter, iar injecţii cu extracte testiculare sau cu spermă au efectuat mai ales Brown-Séquard (1889—91). Era endocrinologiei începe însă odată cu ipoteza histologului A.Prenant (1898), după care corpul galben are structura unei glande cu secreţie internă.

În primii ani ai secolului nostru, P.Bouin şi P.Ancel descoperă faptul că funcţia endocrină a testiculului este localizată la nivelul celulelor interstiţiale (sau diastematice), descrise de F.Leydig (1852). Această teorie, care a fost obiectul unor vii controverse, are astăzi o bază solidă.

Fraenkel (1901) a arătat că corpul galben este necesar în evoluţia gravidităţii. Teste precise ale influenţei luteinice s-au evidenţiat apoi la nivelul uterului.

Bouin şi Ancel (1909) împerechează iepuroaice cu masculi sterilizaţi. La aceste femele cu ovulaţie provocată, dehiscenţele foliculare survin odată cu apariţia corpului galben. Starea de pseudosarcină nu apare dacă se efectuează ablaţia (extirparea) ovarelor sau cauterizarea corpilor galbeni; dimpotrivă, această stare se manifestă în cazul rupturii traumatice experimentale a foliculilor. În aceeaşi perioadă, J. Loeb arată că trecerea unui fir prin endometrul unei femele de cobai este urmată de transformarea în placentă a celulelor conjunctive ale mucoasei uterine, cu condiţia ca în ovare să fie prezenţi corpii galbeni. Reacţia deciduală corespunde formării placentei materne şi poate fi provocată de un traumatism banal, ca şi de o sensibilizare de natură endocrină.

PRIMELE SUCCESE. Acestei etape preliminare îi urmează etapa cercetărilor morfologice şi experimentale asupra activităţii ciclice masculine sau feminine.

Cercetările histofiziologice dovedesc că structurile tractusului evoluează sincron cu cele ale glandei genitale, că ele sînt alterate prin castrare, în timp ce grefa cu gonadele restabileşte. Epiteliul vaginal proliferează şi se keratinizează atunci cînd foliculii se maturează în gonadă; în acelaşi timp apare şi rutul. Utilizarea frotiului vaginal permite examinarea la microscop a celulelor epiteliului vaginal constituind astfel un fir conducător în endocrinologia sexuală. Aşa cum uterul răspunde prin modificări specifice la prezenţa corpilor galbeni, tot astfel epiteliul vaginal este receptorul influenţei foliculare.

---

[22] Mai precis, hipotalamusul eliberează hormoni polipeptidici care stimulează celulele secretorii hipofizare (*releasing*-factori) în mod specific. Reglarea nervoasă a hipofizei a fost amplu studiată de cercetătorii sovietici şi români (Şt. Milcu, Gr. Benetato, V. Săhleanu etc.). Întreg acest complex este supus unei integrări organismice de tip cibernetic, studiat de Zavadovski, Şt. Milcu ş.a. — *V. S.*

Anumite fenomene pot fi puse în evidenţă cu multă claritate: disocieri spermatodiastematice la mamiferele mascule hibernante, modalităţi ale ciclului ovarian (fază foliculară, evoluţie spontană, fază luteinică), utilizarea crestei de cocoş drept reactiv masculin.

S-a încercat apoi izolarea substanţelor responsabile de transformările receptorilor. În 1923—24, E.Allen şi E.A.Doisy, pe de o parte, şi R.Courrier, pe de alta, au abordat studiul condiţionării vaginale. Ei au arătat că la femela de şoarece sau de cobai castrată, injectarea de extracte de lichid folicular ovarian restabileşte imaginea histologică identică celei obţinute în momentul rutului. Ei pun, astfel, în evidenţă un principiu hormonal pe care R. Courrier îl denumeşte foliculină.

R.Courrier (1927) arată că foliculina nu este hormonul corpului galben. Acesta din urmă este progesteronul, descoperit de G.W.Corner şi W.N.Allen (1929) şi cristalizat de A.Butenandt (1934).

După 1920 au fost descoperite corelaţii hipofizo-sexuale prin hipofizectomie şi prin administrarea de extracte pituitare. Tot atunci s-a pus problema, nerezolvată încă, a pluralităţii gonadostimulinelor: A (F.S.H.), cu acţiune foliculostimulantă şi spermatogenetică; B (L.H.), cu influenţă luteinizantă, care stimulează interstiţiul testicular. În 1933, O.Riddle izolează prolactina antehipofizară care declanşează secreţia lactată.

B.Zondek şi S.Aschheim (1927) demonstrează prezenţa substanţelor hormonale în urină. Abundenţa foliculinei în timpul sarcinii la femeie înlesneşte studiul său chimic şi îngăduie prepararea sa industrială. Sarcina umană este, de asemenea, marcată de excreţia specifică de gonadostimulină B, ceea ce permite diagnosticarea sa precisă şi precoce, prin metoda administrării acestei excreţii la iepuroaice, căreia îi provoacă ovulaţii ovariene (Aschheim şi Zondek, 1928). Diverşi hormoni se regăsesc, de asemenea, şi în sînge.

APORTUL BIOCHIMIEI. A început astfel era descoperirilor chimice. Produsele active au fost purificate şi cristalizate. Cînd formulele lor, care conţin nucleul sterolic, fiind apropiate de cele ale hormonilor corticosuprarenali, au fost bine precizate[23] s-a încercat sintetizarea lor.

Au fost obţinuţi estrogeni artificiali lipsiţi de nucleu sterolic: stilboestrolul, hectoestrolul, benzoestrolul, acidul doisinolic, acidul alenolic. Unele dintre aceste substanţe realizează activităţi fiziologice multiple: pregneninolonul, care este în acelaşi timp şi estrogen, şi androgen, şi progestativ; alenolatul de dezoxicorticosteron etc.

AVÎNTUL ENDOCRINOLOGIEI SEXUALE. Înzestraţi cu arme puternice şi sigure, cercetătorii au putut extinde şi aprofunda domeniul cercetărilor lor: problemele acţiunii cantitative a hormonilor şi ale legăturilor lor reciproce, echilibrul endocrin gravidic, condiţionarea mamară, determinarea sexului la embrion.

---

[23] Pentru amănunte, vezi studiul lui R. Debré şi G. Desbuquois (pag. 849—858).

La diverse grupe de vertebrate s-a constatat faptul că hormonul masculin este secretat de celulele interstiţiale ale testiculului şi că această elaborare este reglată de un echilibru glandulohumoral şi supusă comenzii hipofizare. Hormonul masculin, secretat tot de corticosuprarenală (şi poate şi de ovar) acţionează proporţional cu dozele injectate, pornind de la un prag ce depinde de receptor şi urmînd o curbă stabilită experimental pentru creasta de cocoş. Au fost individualizaţi (vezi pag. 852) factorii care reglează funcţionarea ovarului. Condiţionarea ovulaţiei a constituit obiectul unor cercetări. Cronologia procesului a fost precizată la femeie în ziua a 14-a (intermenstruală) a ciclului, aceasta corespunzînd perioadei de fecunditate maximă.

Estrogenii şi progesteronul oferă legături reciproce de sinergie: sinergie de succesiune (foliculina sensibilizează receptorii la acţiunea progestinei), sinergie de simultaneitate (foliculina ajută progestina şi permite, în general, economisirea ei). Totuşi, anumite doze de estrogeni administraţi în faza luteinică împiedică reacţiile progestative (fenomenul de antagonism hormonal ovarian). Legea antagonismului şi a sinergiei este generală, dar modalităţile cantitative variază în funcţie de specie şi de receptor.

Au fost analizate condiţionarea endometrului feminin şi determinismul menstruaţiei care apare în lipsa hormonilor. La maimuţă, grefa unui fragment de mucoasă uterină efectuată în camera anterioară a ochiului a permis observarea la microscop — pe viu — a transformărilor histologice.

Sarcina a fost studiată datorită analizării secreţiilor hormonale şi a stării receptorilor genitali supuşi acţiunii unor hormoni specifici. O serie de factori nocivi faţă de starea de sarcină au permis stabilirea condiţiilor care determină menţinerea, întreruperea sau prelungirea acesteia. S-a precizat că sarcina este influenţată de sistemul hipofiză-corp galben-placentă, iar importanţa fiecărui element variază în funcţie de specie şi de momentul sarcinii.

Instalarea sarcinii (pregătirea pentru implantare, implantarea şi placentarea) este supusă unei condiţionări hipofizoluteinice, a cărei valoare cantitativă a fost studiată. Naşterea nu este încă bine cunoscută. Ea este legată de o contractilitate uterină sensibilizată de foliculină şi declanşată, probabil, de ocitocina posthipofizară. Parenchimul mamar, în ceea ce priveşte abundenţa şi diferenţierea sa, este supus condiţionării hormonilor ovarieni.

DETERMINISMUL SEXULUI LA EMBRION. Echipamentul cromozomic celular este diferit în funcţie de sexul individului: există un stoc cromozomic dublu (diploidie) în celulele somatice şi un stoc unic (haploidie) în celulele sexuale, după reducerea cromatică. Dar există şi „heterocromozomi“ care, la unul dintre sexe (la mamifere şi la om, la sexul masculin) formează în celulele somatice o pereche, ale cărei unităţi nu sînt asemănătoare (cromozomii X şi Y: T.H. Montgomery, 1901; C.E. McClung, 1901); astfel încît, în momentul reducerii cromatice, aceste celule sexuale vor moşteni unul sau altul dintre heterocromozomi (heterogameţie). Deci, spermatozoizii umani se împart în două grupe, în funcţie de compoziţia lor cromozomică, în timp ce ovulele sînt toate identice (homogameţie). „Balanţa genică" este, aşadar, responsabilă de condiţionarea sexului încă de la fecundare.

Dar transformările sexului, naturale sau experimentale (intersexualitate), subliniază faptul că fenotipul nu corespunde totdeauna genotipului. Celula germinală nu este determinată inevitabil în privinţa sexului de compoziţia sa cromozomică. „Balanţa genică" acţionează printr-un lanţ de influenţe, atît asupra germenului, cît şi asupra somei.

F.R. Lillie (1916) a studiat cazul gemenilor de sexe diferite, legaţi prin anastomoze placentare (*free-martin* la bovidee). Femela prezintă malformaţii genitale şi manifestă după pubertate o comportare anormală provocată de mesagerii chimici transfuzaţi de fratele său.

S-au realizat experienţe la toate grupurile de vertebrate. Astfel, la embrioni, s-au efectuat grefe ale gonadelor heterologe, parabioze, castrări şi administrări de hormoni responsabili de activitatea postpuberală. La vertebratele „inferioare" s-a obţinut o inversiune totală; la păsări a fost provocată anomalia unui ovar stîng şi a unui testicul drept. La mamifere, inversiunea nu acţionează niciodată asupra gonadei, ci numai asupra canalelor.

Care este natura acestor hormoni embrionari? După Witschi, cortexina femelă şi medularina masculă, care induc diferenţierea gonadei, se deosebesc de hormonii sexuali, răspunzători de dezvoltarea canalelor genitale primare şi de formarea caracterelor sexuale secundare. După Jost (1934), embrionul ar produce o secreţie diferită de cea a adultului; aceste substanţe ar dirija organogeneza sexului primar. E. Wolff (cercetările au fost începute după 1940) demonstrează că hormonii genitali care intervin în cursul diferitelor perioade ale vieţii (embrionară, prepubertară şi pubertară) sînt de aceeaşi natură.

Hermafroditismul şi pseudohermafroditismele sînt înţelese în patogenia lor, pe baza acestor date biologice iniţiindu-se terapeutici raţionale.

E. APĂRAREA ORGANISMULUI

IMUNITATEA. Menţinerea vieţii organismului implică existenţa unor fenomene de apărare împotriva agenţilor exogeni. Fagocitoza, mecanism celular de luptă împotriva germenilor patogeni, a fost descoperită de I.I. Mecinikov în 1882. Această concepţie a fost aprig combătută de anumiţi bacteriologi, partizani ai unei teorii umorale de distrugere microbiană. În 1894 însă, R. Pfeiffer a oferit o strălucitoare demonstraţie a existenţei celui de-al doilea mecanism (vol. III, pag. 595), care a fost elucidat în laboratorul lui Mecinikov de la Institutul „Pasteur", de către J. Bordet, datorită evidenţierii proprietăţilor umorale legate de anumite substanţe ale serului, denumite anticorp şi complement (1895—1901). Prima dintre ele este specifică, iar cea de-a doua este nespecifică. Această descoperire, care le-a completat pe cele privind aglutinarea specifică (M. Gruber şi H.E. Durham, 1896) şi serodiagnosticul (F. Widal, 1896) (vol. III, pag. 595), a fost urmată de punerea la punct a reacţiei de deviaţie a complementului

(Bordet şi O. Gengou, 1901), din care a derivat mai ales reacţia Bordet-Wassermann pentru diagnosticarea sifilisului (1906)[24].

Astăzi se ştie că anticorpii aparţin grupelor de globuline. Studiind aceste modalităţi de reacţie a organismului ca răspuns la agresiuni, imunologia studiază componenţii antigenici răspunzători de formarea anticorpilor.

Aceştia nu rezultă dintr-o transformare proteică, ci dintr-o sinteză destul de rapidă, *de novo*, pornind de la molecule mici. Antigenul modifică sinteza astfel ca globulinele formate să posede o configuraţie care să se adapteze la propria sa configuraţie: aceasta este teoria clasică a „mulajului" (tiparului). Antigenul ar interveni modificînd sistemul enzimatic de sinteză a globulinelor; iar acest sistem, transmis celulelor-fiice, ar întreţine prin el însuşi un mecanism care formează anticorpi. Recent, au fost realizate experienţe de transferare a capacităţii de a sintetiza anticorpi prin injectarea de celule unui receptor, la care acest mecanism este deja în funcţie.

Originea celulară a anticorpilor a fost pusă în legătură succesiv cu sistemul reticulo-histiocitar, apoi de limfocite, pentru a fi, în sfîrşit, atribuită plasmocitelor. Sistemul reticulo-histiocitar intervine totuşi; el este foarte abundent la nivelul splinei, al cărei rol în imunitate este dovedit, fără să i se cunoască exact mecanismele.

Axa hipofizo-suprarenală este solicitată de orice iritare externă; ea constituie un agent de răspuns nespecific al individului care acţionează în reacţia de alarmă a lui Selye (1950). Un element care ar interveni în imunitatea naturală, properdina, a fost detectat recent în sînge[25].

---

[24] Aplicarea practică a seroterapiei a fost iniţiată de V. Babeş (în turbare), dar realizată de Behring (în difterie). Contribuţii româneşti importante la studiul imunităţii sînt, printre altele, următoarele: descoperirea „imunităţii de contact", la nevertebrate (I. Cantacuzino), care pune în joc forţe electrostatice; concepţiile despre imunitatea celulară în viroze, paraimunitate şi septinevrită (Şt.S. Nicolau); conceptul despre parafilaxie-anafilaxie şi conexiunea dintre sistemul nervos vegetativ şi imunitate (D. Danielopolu). De asemenea, Gr. Benetato şi colaboratorii, folosind tehnica izolării circulatorii a capului de restul corpului, în condiţiile menţinerii integrităţii structurilor şi conexiunilor nervoase, au demonstrat intervenţia reglatoare şi integratoare a centrilor hipotalamici în reacţiile de apărare ale organismului. — *V. S.* şi *Gr. S.*

[25] În ultimii ani, asistăm la o amplă reconsiderare a biologiei imunităţii. Mecanisme de tip imunitar sînt invocate în procesele de morfogeneză (Jukov-Verejnikov; Veazov; Burwell), în apărarea faţă de mutaţiile somatice (Burnet) (şi deci, faţă de cancer), în autoreglarea organismului adult (Bursch, 1965), în procesul de îmbătrînire (Soi Ram). S-a conturat capitolul „boli prin autoagresiune imunologică" în care ar intra unele colagenoze şi reumatisme, unele boli viscerale cronice, unele endocrinopatii şi anemii, poate miastenia. Un rol important în homeostazia imunologică l-ar juca ganglionii limfatici, splina, timusul. Agresiunea imunologică a devenit o metodă experimentală de a leza organe, de a le exclude funcţional etc.

Pe de altă parte, imunochimia s-a dezvoltat ca un complement al chimiei proteinelor, metodele imunologice servind la identificarea şi la dozarea unor substanţe biologic active. Dozarea hormonilor a fost literalmente revoluţionată prin introducerea tehnicii *radioimunologice* care se bazează pe „competiţia" dintre hormonul dozabil şi un hormon marcat, standardizat (Yalow şi Berson, 1960). La contactul imunologiei cu endocrinologia a apărut o nouă ştiinţă, *imuno-endocrinologia* (cultivată, la noi în ţară, de Şt. Milcu, Ligia Simionescu, V. Săhleanu). Prin metoda imunofluorescenţei se pot urmări, în ţesuturi şi celule, compuşi biologici macromoleculari, procese citofiziologice etc. — *V. S.*

PROBLEMA GREFEI LA ANIMALE. După descoperirea cauzelor imunologice ale incompatibilităților dintre sîngele unor specii diferite de mamifere (heteroanticorpi), în secolul al XX-lea s-au precizat treptat antigenicitățile care există între indivizi din aceeaşi specie (izoanticorpi umani). Aceasta a dus la studiul problemei grefei la animale: transferul unui fragment de organ, fie de la un individ la un altul de specie diferită (heterogrefă) sau identică (homogrefă), fie dintr-un punct în altul al aceluiaşi organism (autogrefă). Corect practicate, autogrefele prind totdeauna, ceea ce explică succesul lor în chirurgia plastică umană; nu acelaşi lucru se poate afirma însă despre heterogrefe şi chiar despre homogrefe. În secolul al XX-lea s-au adus o serie de precizări în legătură cu ele:

L. Loeb (1921—30) a observat că toleranțele sînt mult mai mari la nevertebrate; la vertebrate se manifestă o reacție individuală începînd cu batracienii adulți. Chiar la embrionul vertebratelor superioare, grefa nu este posibilă decît în interiorul unei aceleiași specii. „Specificitatea de specie a embrionului va deveni la adult o specificitate individuală" (R.M. May). Totuşi este posibilă implantarea la adult a unor țesuturi embrionare din aceeaşi specie (grefe brefoplastice, May, 1934).

Incompatibilitatea este mai mică în interiorul unei rase pure de mamifere, între gemeni monozigotici umani, adică între indivizi foarte strîns înrudiți. Înrudirea a fost utilizată în încercările de grefe renale efectuate în 1959 la Boston şi la Paris.

Grefele moarte sînt tolerate mai uşor (Nageotte, 1917) şi mai ales cele de tendoane şi de oase care sînt asimilate; acest fapt a permis organizarea unor „bănci de oase" destinate terapeuticii chirurgicale. Anumite porțiuni se pretează mai bine la prelevarea de grefe (camera anterioară a ochiului; testiculul — M. Aron şi colaboratorii, după 1953).

„Imunitatea de transplantare" (Schoenne, 1912) este procesul care cauzează distrugerea unui grefon străin din punct de vedere genetic. După 1943, P.B. Medawar a adus o contribuție capitală la elucidarea homogrefelor. Intoleranța apare ca o reacție dobîndită de organismul întreg al gazdei.

Orice cauză capabilă să mărească reacțiile imunologice ale receptorului față de grefon scurtează timpul de supraviețuire al acestuia (fenomenul *second set* al lui Medawar). Orice factor care micşorează reacțiile imunologice ale receptorului măreşte durata de supraviețuire a grefonului (radiații X, anumiți hormoni, injectarea de antigeni în cursul vieții fetale).

Un receptor nu respinge un grefon decît dacă a survenit o reacție de imunizare: grefa trebuie să furnizeze materialul antigenic, ceea ce nu se realizează dacă ea este brefoplastică; receptorul trebuie să elaboreze anticorpi, capacitate pe care nu o au nici nevertebratele, nici embrionii de vertebrate.

„Antigenul de transplantare al lui Medawar" este celular, ba chiar nuclear. După ce i-a atribuit o structură dezoxiribonucleică, Medawar (1958) i-a conferit o natură polizaharidică. Alături de antigenii sensibilizanți se pare că există şi alții protectori, răspunzători de fenomenul facilitării.

Anticorpii circulanți nu au putut fi puşi în evidență decît în mod excepțional; în timp ce transferul de sensibilitate se obține uşor cu ajutorul limfocitelor a căror prezență este, dealtminteri, necesară pentru reacția de respingere. Aceste fapte au permis în ultimii ani compararea acestui fenomen cu cel al „sensibilizării bacteriene întîrziate". Dar realitatea este poate mai complexă, deoarece intervine şi serul.

Imensul interes acordat acestor cercetări este legat de speranţa realizării la om a grefelor necesare pentru a remedia unele deficienţe organice grave. Acest obiectiv nu a fost încă atins, în ciuda unor reuşite spectaculoase, care nu vor putea fi apreciate corect decît cu o anumită perspectivă în timp.

În sfîrşit, cancerologia experimentală are nevoie să studieze pe-ndelete comportarea tumorilor umane grefate pe animale. Aceste heterogrefe, încercate încă din 1890 (Hanau, Moreau), par a fi intrat pe calea reuşitelor, după cercetările recente ale lui Miss Toolan.

F. FIZIOLOGIA NERVOASĂ ŞI SENZORIALĂ

În zorii secolului al XX-lea, neurofiziologia era în plină dezvoltare, datorită lucrărilor unor cercetători remarcabili, ca Ch. Sherrington în Anglia, I.P. Pavlov în Rusia, H.W. Cushing în Statele Unite, L. Lapicque în Franţa, C. Golgi în Italia şi S. Ramón y Cajal în Spania, cercetători care au fost în acelaşi timp şi eminenţi şefi de şcoală. Datorită operei lor şi celei a discipolilor şi continuatorilor lor, studiul structurii şi funcţiei nervilor, al centrilor nervoşi şi al organelor senzoriale a progresat în mod remarcabil. Avîntul tehnicilor experimentale, şi în special al electronicii, a contribuit din plin la această răspîndire rapidă a cunoştinţelor noastre într-un domeniu deosebit de important al biologiei animale.

HISTOLOGIA ŞI FIZIOLOGIA NERVOASĂ. Diferenţierea nervoasă a fost bine lămurită la sfîrşitul secolului al XIX-lea. Doctrina neuronului, care a înlocuit net teoria „reţelei nervoase“, a integrat modul de organizare a „maşinii nervoase“ (Lapicque) în cadrul doctrinei celulare. Lucrările clasice ale lui Golgi şi Ramón y Cajal au precizat, prin tehnici de impregnare cu argint, silueta acestor „fluturi ai sufletului, ale căror bătăi de aripi creează gîndirea“. Microscopia electronică a dovedit realitatea neurofibrilelor.

Tot secolul al XX-lea a analizat şi a clasificat celulele nevroglice, dintre care unele erau cunoscute înainte de anul 1900: în afară de nevroglia epitelială şi de astroglie, au mai fost descrise o oligodendroglie, care cuprinde şi elemente emigrate din nevrax, şi o microglie cu valoare mezenchimatoasă.

Modul de funcţionare a neuronilor a putut fi tradus în limbaj fizic şi chimic. Unda de depolarizare, sau potenţialul de acţiune, fenomen electric ce caracterizează trecerea influxului nervos, fusese intens studiată la mijlocul secolului al XIX-lea. În secolul al XX-lea, amplificarea cu ajutorul tuburilor triode şi oscilograful catodic au permis înregistrarea acestor fenomene rapide.

J. Erlanger şi H.S. Gasser (1922—29), A.V. Hill (1929), L. Lapicque (1939)au arătat că există diferenţe foarte mari de conductibilitate între diversele tipuri de fibre nervoase; s-a stabilit o relaţie între viteza influxului şi diametrul acestor fibre. S-a putut efectua un studiu electrofiziologic asupra unui singur neuron (axoni uriaşi ai nervului mantalei la calmar; izolarea experimentală; utilizare de microelectrozi). Dacă sînt detectaţi curenţii produşi printr-un excitant fiziologic se observă nu o undă, ca în cazul unei excitări artificiale (electrice), ci un convoi de unde (E.D. Adrian, 1926—30; Y. Zotterman). Fiecare fibră funcţionează conform legii „tot sau nimic". Modificarea electrică, propagată din aproape în aproape, corespunde unei mobilizări a ionilor. S-a încercat reproducerea fenomenului pe un fir de fier pasiv cufundat într-o baie de acid azotic slab şi zgîriat superficial (nervul artificial al lui R. Lillie, 1918). Se consideră că, deoarece fenomenul ionic se produce numai la nivelul strangulărilor lui Ranvier, procesul „saltă" de la o strangulare la cealaltă (teoria salturilor). Problema pare a se orienta actualmente spre o scară ultramicroscopică, prin analiza membranei plasmice.

A apărut o controversă în privinţa legăturilor dintre neuroni: există contiguitate sau continuitate? O experienţă clasică a lui K. Bethe (1903—1907), efectuată pe o antenă de crab, pleda în favoarea celei de-a doua teorii, ca şi imaginile reţelei terminale a lui Boeke. Noţiunea de contiguitate prin sinapsă (Charles Sherrington, 1898), care se bazează pe polaritatea conexiunilor puse în evidenţă de Ramón y Cajal, a adus neurologia în cadrul teoriei celulare clasice.

Dacă citonul (corp celular) este centrul trofic (A.V. Waller, 1852) şi genetic (culturile lui Harrison, 1907), sinapsa este un macaz funcţional. Microscopia electronică s-a ocupat, cu succes, de precizarea modului de organizare, ceea ce necesită pentru examinarea microscopică, tehnici de impregnare care pot da loc unor eventuale artefacte; ea cercetează actualmente minuscula limită la care doi neuroni se află în conexiune prin sinapsa lor.

Tot în cadrul sinapselor trebuie incluse şi contactele fibrelor nervoase periferice cu receptorii senzoriali şi cu efectorii muşchiulari: structura plăcii motrice (descoperită în secolul al XIX-lea) a dat loc la numeroase discuţii.

Efectele electrice nu sînt singurele care se manifestă în activitatea nervoasă. Intervenţia substanţelor chimice (adrenalina, anumiţi compuşi ai potasiului, acetilcolina, muscarina, ezerina) a fost presupusă de numeroşi cercetători (J.N. Langley, 1901; Th.R. Elliott, 1904; W.H. Howell; R. Hunt, W.E. Dixon şi Ph. Hamill; H. Dale, 1914 etc.).

În 1921, O. Loewi a furnizat demonstraţia decisivă a rolului intermediarilor chimici în acţiunea de reglare a sistemului nervos simpatic asupra organelor pe care le controlează.

Fibrele parasimpatice acţionează prin intermediul acetilcolinei iar fibrele simpatice, prin cel al adrenalinei (O. Loewi, 1921—24; H. Dale şi H.W. Dudley, 1929; W.B. Cannon şi A.S. Rosenblueth, 1931—37; etc.). Astăzi se ştie că acetilcolina intervine şi în transmiterea influxului nervos şi serveşte drept intermediar între nervul motor şi muşchiul striat voluntar, la nivelul sinapsei reprezentate de placa motrice (W. Feldberg şi J.H. Gaddum, 1933 etc.). Adrenalina şi acetilcolina sînt astfel mediatorii chimici ai sistemului nervos.

Neurobiochimia acoperă astăzi un domeniu vast care cuprinde nu numai intermediarii conductibilităţii nervoase, ci şi mecanismele biochimice ale fiziologiei nervoase. În cadrul ei intervin fosfagenul, acidul adenozintrifosforic, vitamina B_1, colinesteraza (Loewi şi E. Navratil, 1924—26).

CENTRII NERVOŞI. Studiul anatomic, histologic şi fiziologic al centrilor activităţii nervoase a fost în întregime reînnoit. W.H. Gaskell, J.N. Langley, Sherrington, Dale, Loewi, Lapicque, A.V. Hill, W.R. Hess, J.C. White etc. au efectuat cercetări asupra sistemului parasimpatic. Măduva spinării a constituit, de asemenea, obiectul a numeroase şi importante cercetări. În ceea ce priveşte creierul, s-au întreprins studii în cele mai diverse direcţii. Dacă în cursul ultimelor decenii s-au folosit metode noi, deosebit de eficace, precum şi electroencefalograma (H.Berger, 1929; Adrian şi Matthews, 1934), dezvoltarea sa în cursul secolului nostru este marcată de influenţa cîtorva şefi de şcoală, ca Ch.Sherrington, H.Cushing, E.D. Adrian, J. Russer de Barenne în Anglia, K. Brodmann, J.P. Karplus, A.Kreidl, C. Economu, H. Berger în Germania, L. Lapicque, H. Piéron, J. Fessard în Franţa, H. Cushing, O. Foerster, Lorente de No în Statele Unite etc. Progresele realizate în studiul fiziologiei atît de complexe a creierului şi în cel al localizărilor cerebrale se leagă şi de progresele chirurgiei creierului[26], precum şi de dezvoltarea psihologiei experimentale.

FIZIOLOGIA SENZORIALĂ. În secolul al XX-lea, receptorii senzoriali au fost clasificaţi în exteroceptori, interoceptori şi proprioceptori, după cum impulsurile primite provin din lumea exterioară, de la viscerele profunde sau de la muşchi. Exteroceptorii cei mai complecşi, urechea şi ochiul, au constituit obiectul unor cercetări sistematice care au dus la elucidarea progresivă a dificilelor probleme de fizică, biochimie, fiziologie şi psihologie, ridicate de recepţia mesajelor sensibile, de transmiterea lor la zonele specializate ale creierului şi de interpretarea lor psihică.

În cea de-a doua jumătate a secolului al XIX-lea, dezvoltarea rapidă a anatomiei microscopice a urechii interne (Corti, Schultze, Helmholtz, Hensen, Retzius, Hasse etc.) şi progresele acusticii teoretice şi experimentale permiseseră edificarea celebrei teorii a lui Helmholtz. Conform acestei teorii, analiza sunetelor se realizează în urechea internă, diversele frecvenţe fiind primite în puncte determinate ale melcului, unde fibrele membranei bazilare vibrează prin rezonanţă sub acţiunea sunetelor la care sînt acordate; nervul auditiv transmite astfel la creier un mesaj deja analizat.

Această teorie a cunoscut un mare succes, dar insuficienţa datelor experimentale a incitat formularea unor teorii „rivale“ (Rutherford, 1886; Hurst, 1894; R. Ewald, 1898; M. Meyer, 1898; E. ter Kuile, 1900), care resping unele dintre principiile sale.

Studiile sistematice efectuate de G. von Békésy după 1928 asupra mecanicii cochleei, mai întîi pe un model mecanic simplificat şi apoi pe cochlee umane, au adus informaţii preţioase despre funcţionarea urechii interne, confirmînd mai ales ipoteza localizării frecvenţelor, dar infirmînd-o pe cea a rezonanţelor. Progresele electronicii au permis abordarea studiului din punct de vedere electrofiziologic.

E.C. Wever şi C.V. Gray (1930), F. Leiri (1935) au descoperit efectul microfonic cochlear, a cărui analiză a dus la rezolvarea diferitelor probleme în suspensie, precizînd îndeosebi rolul analizor al urechii interne şi confirmînd experimental localizarea diverselor frecvenţe

---

[26] Vezi studiul lui R.Debré şi G.Desbuquois (pag. 913–914).

(Tasaki, Davis şi Legouix). Studiul potenţialului de acţiune al nervului auditiv (Derbyshire şi Davis, 1935) a putut fi efectuat pe un neuron unic (Galambos şi Davis, 1943), în timp ce Tunturi a stabilit existenţa unor localizări tonale în aria auditivă cerebrală a cîinelui. Teoria „salvei", emisă de E.C. Wever, încearcă să interpreteze aceste diverse date recente. Astfel, în mai puţin de o jumătate de secol, teoria audiţiei a făcut progrese importante.

Prin intermediul canalelor semicirculare, urechea internă este însă şi sediul simţului echilibrului (Flourens, 1830; R. Ewald, 1895). Numeroşi cercetători au precizat acest rol, în special R. Bárány, care a efectuat cercetări importante asupra fiziologiei şi patologiei aparatului vestibular (1905—11).

Trebuie să semnalăm şi progresele remarcabile realizate în domeniul fiziologiei fonaţiei, datorită unei experimentări mai sistematice bazate pe utilizarea unor tehnici de măsură şi de înregistrare din ce în ce mai perfecţionate (A. Musehold, 1898; E. Barth şi E. Grunmach, 1907; F. Trendelenburg, 1924; R. Husson, după 1945; etc.).

Fiziologia vederii a progresat, de asemenea. Deosebit de remarcabilă a fost dezvoltarea electrofiziologiei oculare.

Tehnica electroretinogramei (F. Gotch, 1903; A. von Brossa şi A. Kohlrausch, 1913) a profitat de progresele electronicii. Fenomenele electrice determinate de iluminarea ochiului au fost urmărite de la retină (microelectrozi introduşi la adîncimi variabile: R. Granit) pînă la nervul optic (E.D. Adrian şi R. Matthews, 1927—28); înregistrarea curentului de acţiune pe un filet nervos separat de la broască (H.K. Hartline, 1938—40), şi pe o fibră individuală de la *Limulus* pînă la cortexul vizual (de Valois, 1958).

Cercetări importante au fost consacrate purpurii retiniene, substanţă fotoreceptoare care a fost extrasă din bastonaşe de W.Kühne (1878).

Recent s-a dovedit că vitamina A reprezintă punctul de plecare al formării acestei purpuri (rodopsină), precum şi a substanţelor înrudite care pot interveni în mecanismul vederii la anumite animale (Rushton, W.D. Wright, R.A. Weale). H. Wald a reuşit să sintetizeze rodopsina, căreia i-a reconstituit ciclul fotochimic. Mecanismul electrogenezei, adică al trecerii de la procesul fotochimic la excitaţia nervoasă, a fost studiat de Wald şi K.R. Brown, dar încă nu este bine cunoscut. Perceperea culorilor, interpretată conform teoriei tricromice a lui Young, este pusă pe seama fie a specializării conurilor, fie a absorbţiei diverselor radiaţii la adîncimi diferite (J. von Kries, W.A. Nagel, W. Ostwald, W.S. Stiles, Y. Le Grand, W.D. Wright etc.).

Alte aspecte ale opticii fiziologice fiind expuse în alte capitole[27], ne vom mărgini să amintim cercetările importante ale lui A. Gullstrand (1900, 1911) asupra funcţionării ochiului, asupra acomodării şi asupra defectelor de vedere, cele ale lui C. von Hesse asupra acomodării, studiile lui H. Pirenne şi E. Baumgardt asupra interpretării cuantice a pragurilor vizuale şi cercetările de ansamblu ale lui R. Granit, S. Polyak, H.K. Hartline etc.

REFLEXELE. În secolul al XIX-lea cunoştinţele asupra reflexelor au progresat în mare măsură (vol. III, pag. 486—489, 494). După ce Bell şi Magendie au precizat semnificaţia respectivă a rădăcinilor rahidiene dorsală şi ventrală, Longet,

---

[27] Vezi studiul lui V. Ronchi (pag. 203).

Pflüger şi Ch. Richet au stabilit legile reflexelor spinale. Datele morfologice obţinute de Ramón y Cajal au permis reprezentarea celulară a fenomenului, prin descrierea arcului cu trei neuroni. Este uşor de conceput lanţuri mai mari şi dispoziţii mai complexe; şi aceasta cu atît mai mult, cu cît căile de conducere introaxiale şi fiziologia centrilor sînt tot mai bine cunoscute. În sfîrşit, noţiunea de sinapsă (M. Foster şi Ch. Sherrington, 1897) a furnizat conceptul care permite înţelegerea legăturilor dintre neuroni şi lanţuri. Aceste rezultate au servit drept bază studiilor experimentale. În secolul al XX-lea au fost analizate procesele de sumare, de perioadă refractară şi de inhibiţie. Şcoala britanică a lui Sherrington s-a ocupat mai ales de reflexele care guvernează statica şi postura individului.

Reflexul miotatic al lui E.G. T. Liddel şi Sherrington (1904) reprezintă o reacţie tonică a muşchilor extensori ai membrelor ca răspuns la întinderea lor. Poate fi observat în rigiditatea ce urmează decerebrării experimentale şi dispare după secţionarea rădăcinilor nervoase dorsale. Este un reflex postural datorită căruia muşchiul rezistă acţiunii gravitaţiei. Rigiditatea de decerebrare nu este o manifestare de iritare: ea este cauzată de eliberarea anumitor centri bulbo-protuberanţiali, şi mai ales a nucleilor vestibulari, în raport cu comenzile superioare ale cortexului cerebral, care poate fi realizată prin transsecţionări la diferite nivele, acestea ducînd la rezultate distincte. R. Magnus opune decerebrarea superioară, în care reflexele de redresare sînt prezente, unei decerebrări inferioare, în care acestea lipsesc.

Cercetările menţionate sînt dominate de noţiunea de integrare a lui Sherrington, integrare posibilă datorită faptului că un singur fenomen — variaţia potenţialului electric — transpune excitaţiile mediului în răspunsuri ale organismului.

REFLEXELE CONDIŢIONATE. Cercetările lui I.P. Pavlov (1849—1936) au cunoscut o celebritate justificată datorită luminii pe care au proiectat-o asupra mecanismelor celor mai complexe ale comportamentului şi chiar asupra psihismului. Încă din 1902, Pavlov, care ajunsese la aceste probleme graţie lucrărilor sale asupra fiziologiei digestiei, a dobîndit o viziune clară în privinţa scopurilor cercetării care l-a preocupat timp de 34 de ani.

Funcţionarea unor organe aparent neimportante, cum ar fi glandele salivare, pătrunde în mod inconştient în activitatea psihică datorită senzaţiilor, dorinţelor şi gîndurilor care, la rîndul lor, exercită o influenţă asupra funcţionării glandelor înseşi.

Cu ocazia primirii Premiului Nobel, în 1904, el opune secreţia reflexă obişnuită a salivei secreţiei salivare provocate de stimularea altor receptori. Datorită lui Pavlov, elevilor şi discipolilor săi, această metodă a dobîndit o importanţă crescîndă în psihofiziologie.

Reflexele condiţionate sau dobîndite se opun reflexelor congenitale sau necondiţionate care sînt prezente la toţi indivizii, sînt ereditare şi legate de căi nervoase prestabilite, în timp ce reflexele dobîndite sînt caracterizate prin instabilitatea lor.

Reflexele condiţionate sînt clasificate în excitatoare (sau pozitive), dacă determină un reflex, şi inhibitoare (sau negative), dacă îl fac să dispară. Ele sînt utilizate la studiul limitelor sensibilității organelor senzoriale ale animalelor: combinînd reflexul condiționat cu distrugerea localizată a aparatului cochlear, s-a putut preciza pentru ce sunete se produce surditatea.

Mecanismele nervoase ale reflexelor condiționate, și mai ales necesitatea integrității scoarței cerebrale, au fost studiate prin extirpări parțiale și specifice sau totale. Anumite substanțe (cafeina, stricnina) măresc intensitatea reflexelor pozitive și o micșorează pe a celor negative timp de circa 24 ore; bromura o mărește pe cea a reflexelor negative timp de două-trei zile.

BIOCIBERNETICA ȘI NEUROFIZIOLOGIA. Deoarece originile ciberneticii au fost studiate în altă parte[28], vom aminti numai contactele stabilite între această disciplină și biologie. Ciberneticienii consideră că știința lor înglobează într-o aceeași sinteză explicativă mașina nervoasă și mașina artificială. Cibernetica mecanizează problemele neurologice. Sistemul nervos prezintă exemple schematice de autoreglare prin *feed-back* (reacție inversă). Analogia funcțională este legată de o analogie de structură. Individul își reglează acțiunea pe baza informației pe care o primește. Se poate considera că anumite noțiuni mentale corespund unor dispozitive configuraționale ale organelor gîndirii. Un exemplu convingător este dat de N. Wiener: aparatul lui McCulloch, care permite orbilor să citească, prezintă un aranjament electric corespunzător structurii celui de-al patrulea strat al cortexului vizual omenesc.

BIOLOGIA ȘI PSIHOLOGIA. Pentru a termina, vom aminti că s-a stabilit o punte între biologie și psihologie. Psihologia nu mai este doar introspectivă. În cadrul ei se folosește metoda „behaviorismului", a lui J.B. Watson[29], procedeele de dresare a animalelor, legate de reflexele condiționate și testele de inteligență la mamifere și la om. Se precizează factorii organici, și mai ales cei hormonali, care acționează asupra comportamentului. În acest cadru al psihofiziologiei au apărut mai multe ramuri: psihologia senzațiilor, psihologia animală, psihologia experimentală, caracterologia etc. Apariția lor confirmă faptul că metoda biologică experimentală a trecut la abordarea mecanismului psihic al lui *Homo sapiens*.

---

[28] Vezi studiul lui F. Le Lionnais (pag. 108–128).

[29] Diferitele aspecte ale etologiei sînt tratate de A. Tétry (pag. 702–707).

CAPITOLUL III
Zoologia

Zoologia cercetează un domeniu vast; studiul amănunțit al animalelor cuprinde nu numai morfologia, anatomia, fiziologia, sexualitatea, dezvoltarea, embriologia și sistematica, ci și cercetările ecologice și etologice[1], acestea din urmă analizînd condițiile de viață în biotopuri, precum și comportarea animalelor și relațiile lor reciproce. După un declin de scurtă durată, provocat de o sistematică demodată, studiul său cunoaște un nou și strălucit avînt, favorizînd orientarea cercetărilor și spre alte științe.

A. METODELE ȘI ORGANIZAREA CERCETĂRII

Perfecționarea diverselor metode, începută în secolul al XIX-lea, a continuat în secolul al XX-lea; printre altele, o serie de descoperiri au furnizat noi mijloace de cercetare deosebit de precise.

MICROSCOPIA ȘI METODELE ASOCIATE. Microscopia a cunoscut progrese excepționale, dintre care vom expune aici cîteva etape[2].

F.E. Ives (1902) realizează un microscop binocular. Ultramicroscopul lui Siedentopf — Zgismondy (1903) permite separarea unor particule de 0,004μ. W. Koehler din Jena arată (1904) că celulele animale pot fi fotografiate în lumină ultravioletă; pusă la punct de J.E. Barnard (1925), metoda aduce servicii apreciabile în studiul bacteriilor. Ameliorat de Caspersson (1936—1955), microscopul cu lumină ultravioletă permite evaluarea conținutului în acizi nucleici. Microscopia în lumină polarizată este folosită de W.J. Schmidt și elevii săi (1924) la studiul celulelor și țesuturilor animale.

Microscopul cu contrast de fază (Zernike, 1938) permite examinarea unei celule vii în condiții la fel de bune ca o celulă fixată și colorată. Dar marea revoluție a secolului al XX-lea constă în inventarea microscopului electronic, care a făcut posibilă examinarea ultrastructurilor celulare şi, în consecinţă, a antrenat o revizuire a citologiei şi a histologiei.

---

[1] Ecologie (*oikos* = locuință, *logos* = vorbire, știință); etologie (*ethos* = comportare). — *M.-F.V.* și *S.M.*

[2] În legătură cu acest subiect, vezi studiul lui R. Kehl (pag. 613—614).

Primele observaţii asupra unor obiecte biologice la microscopul electronic s-au înregistrat prin 1932; dar punerea la punct a unor metode delicate şi obţinerea unor secţiuni ultrafine (100Å) datează abia din 1952—53. Cercetările actuale de microscopie electronică, foarte numeroase, strămută observarea la nivel molecular.

CINEMATOGRAFIA. În 1904, A. Pizon a prezentat primul film zoologic asupra dezvoltării la *Botryllus*[3]. Ulterior, cinematografia a realizat progrese extraordinare. Accelerînd fenomenele vii de 30 pînă la 60 000 de ori, cinematografia permite observarea unor mişcări extraordinar de lente. Datorită încetinirii, mişcările rapide pot fi analizate.

Între 1910 şi 1939, o serie de pionieri ai acestui domeniu (J. Comandon, E. Fauré-Fremiet, J. Painlevé, J. Jolly în Franţa, M.R. şi W.H. Lewis în Statele Unite) au descoperit astfel o serie de fapte importante care pînă atunci trecuseră neobservate. Tehnica microscopiei cu contrast de fază combinată cu cinematografia permit observarea mişcărilor celulare şi intracelulare. Din 1950, această metodă se utilizează pe scară largă.

Filmele ştiinţifice în alb-negru sau în culori au luat o dezvoltare considerabilă. Nenumăratele manifestări ale fiinţelor vii sînt puse în evidenţă de camera fotografică, ce reprezintă un mijloc puternic de analiză şi de cercetare; filmele lui J. Painlevé, von Frisch, K. Lorenz, Kellog, Grassé, Drăgescu şi mulţi alţii au devenit clasice.

MICROMANIPULAREA. În cursul ultimilor ani, metodele de micromanipulare au progresat.

Încă din 1924, Chambers a studiat structura citoplasmei prin microdisecţie, iar în 1912 Ceakotin a pus la punct o metodă de micropunctură pentru a distruge o mică regiune celulară cu ajutorul unui microfascicul de lumină ultravioletă[4]. Unul dintre cele mai perfecţionate micromanipulatoare a fost realizat de P. de Fonbrune (1939). Kopax (1955) a publicat un studiu al diverselor tipuri de micromanipulatoare şi al posibilităţilor lor experimentale.

METODE FIZICE ŞI BIOCHIMICE DE ANALIZĂ. Aceste diferite tehnici cunosc o amplă dezvoltare. Metoda izotopilor radioactivi sau a trasorilor radioactivi, detectori ai infinitului mic, merită o atenţie specială (vezi pag. 395—397).

După cum se ştie, folosirea unui radioizotop permite semnalarea prezenţei anumitor atomi, urmărirea deplasării lor prin organism, ca şi detectarea localizării lor cu ajutorul contorului Geiger sau prin metoda autoradiografică (Lacassagne şi Lattès, 1924). Această din urmă metodă constă în aşezarea pe o placă fotografică a organului sau a ţesutului tratat cu radioizotopi; histoautoradiografia arată celulele care au fixat sau nu radioizotopii. Este posibilă, de asemenea, marcarea animalelor; astfel, insectele, păsările sînt urmărite în deplasările lor; revenirea la cuib poate fi confirmată datorită unui minuscul fir de cobalt radioactiv fixat de corpul păsării.

---

[3] *Botryllus* este un tunicat colonial, fixat pe plante marine şi diferit colorat. —*M.-F.V.* şi *S.M.*

[4] Experienţa a fost făcută pe vacuolele contractile de la *Paramoecium* pentru demonstrarea rolului osmoregulator. —*M.-F.V.* şi *S.M.*

O altă metodă cu multiple aplicaţii este cromatografia[5]. Mai trebuie menţionate ultracentrifugarea, ultrafiltrarea, electroforeza (pe hîrtie, în medii gelificate, electroreoforeze), spectroscopia de absorbţie, spectrografia, fotometria. Numărul reacţiilor citochimice şi histochimice a crescut în mod considerabil. Astfel au luat naştere citochimia şi histochimia. Metodele lor sînt prezentate şi discutate în lucrările lui D. Glick (1949), A.G.E. Pearse (1953), L. Lison (1953).

Vom mai aminti şi metodele embriologice, de culturi de ţesuturi şi de organe care au fost expuse în altă parte (pag. 629—630).

CADRUL EFORTULUI COLECTIV. La societăţile specializate create în secolul al XIX-lea şi dintre care cea mai mare parte există şi astăzi, se adaugă altele noi, corespunzînd disciplinelor recente: genetică, biometrie, speologie, biogeografie etc. Marile congrese internaţionale îşi continuă ciclurile şi reunesc tot mai numeroşi participanţi, concomitent fiind organizate şi frecvente colocvii.

La aceste reuniuni iau parte cîteva zeci de specialişti din toată lumea pentru a expune noţiunile dobîndite asupra unui subiect bine delimitat. Prezentarea şi discutarea rapoartelor permit un schimb de idei profitabil în mare măsură, în timp ce concluziile oferă o punere la punct a problemei tratate. Aceste şedinţe de lucru în comitete restrînse, care se multiplică, reprezintă o formă mult mai productivă decît cea a congreselor internaţionale.

De asemenea, cercetarea individuală este înlocuită tot mai mult cu cercetarea în colectiv; marile organisme naţionale şi internaţionale (UNESCO, OMS, Fundaţia Rockefeller etc.) orientează cercetările, apreciază oportunitatea tratării urgente a unei anumite probleme, hotărăşte ca un colectiv dat să studieze un anumit subiect şi distribuie subvenţii.

O nouă concepţie stă la baza organizării grădinilor zoologice.

Reconstituirea cît mai exactă a biotopurilor naturale creează iluzia că animalul duce o viaţă liberă; în aceste parcuri zoologice, majoritatea speciilor se reproduc. Vivariile şi acvariile sporesc; condiţiile excelente (lumină, temperatură) care sînt realizate favorizează menţinerea unor specii pretenţioase.

Literatura zoologică, dealtfel ca întreaga literatură ştiinţifică, suferă o hipertrofie; revistele de specialitate se înmulţesc într-un ritm accelerat; se înregistrează mai multe încercări de redactare a unui *Tratat de zoologie.*

Încă din 1859, germanii au început publicarea unei vaste enciclopedii, *Bronn's Kassen und Ordnungen des Tierreichs*, neterminată încă, în timp ce primele volume sînt perimate. În 1925, Kukenthal a conceput o operă monumentală, *Handbuch der Zoologie;* publicarea sa, întreruptă în timpul celui de-al doilea război mondial, a fost reluată în prezent, dar într-un ritm prea lent. În Anglia, Harmer şi Shipley au editat — între 1895 şi 1905 — *The*

---

[5] În legătură cu acest subiect, vezi studiul lui A. Ihde (pag. 413—415).

Cambridge Natural History, în zece volume; acest tratat, destul de elementar, are avantajul de a fi fost terminat. Proiectul unui *Treatise of Zoology*, elaborat în 1900 de Ray Lankester, a fost abandonat după publicarea cîtorva volume. În Franţa, încercările de la începutul secolului nu au fost mai fericite. Delage şi Hérouard au întreprins redactarea unui *Traité de zoologie concrète*, din care au apărut doar şase volume, remarcabil ilustrate (1896—1903). Sub direcţia lui R. Blanchard a fost proiectată editarea unui *Traité de zoologie*, dar dintre cele 26 de fascicule prevăzute au fost publicate numai două (1897). Fără a fi excepţional, *Traité de zoologie*, în şase volume, al lui Ed.R. Perrier (1893—1899) a fost timp de peste 40 de ani tratatul zoologic fundamental. După 1948, sub direcţia lui P.P. Grassé, este în curs de publicare un *Traité de zoologie* modern, de inspiraţie evoluţionistă; la această operă, care necesită 17 volume de cîte 1000—1200 pagini (multe volume conţin două sau trei fascicule de cîte 1000 pag.), participă specialişti francezi şi străini. Ultimele dintre aceste volume încă nu au apărut, fiind în curs de elaborare. Zoologul belgian A. Lameere a publicat un *Traité de zoologie*, în şapte volume (1929), a cărui originalitate n-a fost întotdeauna apreciată[6].

B. CONCEPŢII NOI ÎN ZOOLOGIE

CLASIFICĂRILE ZOOLOGICE. Bogăţia faunei a crescut considerabil; în 1952 se aprecia faptul că au fost descrise peste 1 milion de specii. Studiul speciilor vechi sau noi a beneficiat de progresele tehnice. Structurile anatomice, fiziologia, sexualitatea, reproducerea, dezvoltarea ontogenetică constituie obiectul unor cercetări aprofundate care permit evidenţierea unor tipuri arhitecturale. Un plan de organizare omogen exprimă înrudirea reală a speciilor şi legăturile dintre grupuri se confirmă sau se infirmă. Aceste progrese influenţează sistematica: vechile clasificări perimate sînt înlocuite treptat cu clasificări moderne, evoluţioniste; bazîndu-se pe filogenie, ele exprimă derivarea formelor animale unele din altele şi succesiunea lor prin filiaţie.

Exemplul clasificării insectelor este concludent. După 1758 (ediţia a X-a a lucrării *Systema Naturae*, a lui Linné) au fost elaborate peste 50 de clasificări pornind de la caractere diferite, cel mai adesea de la structura aripilor sau a apendicelor bucale. Astfel, au fost clasate alături grupuri fără nici o înrudire efectivă. În cursul secolului al XIX-lea clasificările propuse se îmbunătăţesc (Latreille, 1831; Burmeister, 1835—38). Clasificarea lui Brauer (1885) reprezintă un progres evident, deoarece apterigotele sînt separate de pterigotele aripate sau care şi-au pierdut secundar aripile. Clasificarea lui Brauer a fost perfecţionată de Börner (1904), apoi de Handlirsch (1908); deşi acesta din urmă este paleontolog, el nu a reuşit să stabilească o clasificare care să cuprindă simultan insectele fosile şi insectele actuale. Încercările mai recente (R.J. Tillyard, 1930; A. Lameere, 1931; A.B. Martynov, 1938) reuşesc, în sfîrşit, să cuprindă toate insectele, vii şi fosile.

---

[6] Este de adăugat importantul tratat, rămas neterminat, *The Invertebrates*, în şase volume (1940-1967), elaborat de L.H. Hyman (1888-1969) şi publicat în Mc Graw-Hill Book Co., S.U.A. — *M.-F.V.* şi *S.M.*

Aceste exemple ar putea fi multiplicate la infinit. La intervale mai mult sau mai puţin lungi, clasificările sînt revizuite şi suferă modificări, unele mai uşoare, altele mai profunde. O clasă care nu conţinea decît o familie include acum trei sau patru familii; se creează deci un nou ordin. Nici categoriile cele mai ridicate în ierarhie nu sînt la adăpostul schimbărilor. Unele vechi încrengături sau filumuri nu au, de fapt, nici o valoare, deoarece reunesc grupuri fără înrudiri reale; de aceea, aceste vechi denumiri trebuie să dispară chiar din manualele şcolare.

Marele filum al celenteratelor care reunea cnidarii şi ctenarii este înlocuit prin cele două încrengături ale cnidariilor şi ctenariilor care, deşi înrudite, sînt totuşi deosebite. Grupul briozoarelor (animale-muşchi) a fost, de asemenea, despărţit în două clase: clasa ectoproctelor sau briozoarelor propriu-zise şi clasa endoproctelor sau kamptozoarelor. Acestea din urmă formează o clasă bine definită. Gefirienii — care grupează sipunculidele, echiuridele şi priapulidele — formau un ansamblu cu totul artificial, astăzi dispărut, deoarece sipunculidele, echiuridele şi priapulidele reprezintă filumuri distincte; cel al priapulidelor are slabe legături cu celelalte două. De asemenea, vermidienii lui Delage şi Hérouard cuprindeau şapte clase, formînd un ansamblu total eterogen.

Graptoliţii, fosile marine din silurian, au fost înglobaţi printre hidroizi; studiile anatomice ale unor exemplare bine conservate în silice au permis lui Kozlowski (1938) să pună în evidenţă înrudirile acestor animale cu *Rhabdopleura* din clasa Pterobranhiate (încrengătura Stomocordate).

Categoriile sistematice sînt cu atît mai rare, cu cît ele sînt situate pe trepte ierarhice mai înalte; speciile noi sînt foarte abundente, genurile noi sînt destul de frecvente, în timp ce ordinele, clasele şi încrengăturile noi sînt tot mai rare.

Primul protur, prototip al ordinului Proture, a fost descoperit şi descris de Silvestri (1907). Ordinul Zoraptere a fost creat de Silvestri (1913); formele aripate sînt cunoscute după 1918 (Caudell), în timp ce masculii aripaţi au fost observaţi în 1926 (Karny). G.C. Crampton a definit ordinul Notoptere (1915) pentru o familie studiată în 1914; o a doua familie, descoperită în 1924, s-a încadrat în acelaşi ordin. Clasa moluştelor monoplacofore a fost stabilită de Odhner (1940) pentru un grup de moluşte paleozoice fosile; descoperirea unei moluşte noi, *Neopilina galatheae* (1952), a confirmat autonomia acestei clase care prezintă anumite legături cu moluştele din clasa poliplacofore, fiind independentă de moluştele gasteropode.

O încrengătură nouă, Pogonofore, a fost creată în 1944 de V.N. Beklemişev; istoricul acesteia (vezi pag. 678) dovedeşte dificultăţile întîmpinate în asemenea cazuri.

Dealtfel, poziţia anumitor grupuri rămîne încă incertă.

Legăturile acantocefalilor, ale priapulidelor şi ale chetognatelor sînt încă foarte vagi, iar locul lor în clasificarea generală variază după caracteristicile luate în consideraţie. Mult timp incluşi în încrengătura platelminţilor, nemerţienii au suferit o „avansare"; deşi legăturile lor sînt încă discutate, există un acord aproape unanim în a-i considera drept o încrengătură deosebită.

Se observă, deci, că sistematica, o știință în continuă evoluție, prezintă fluctuații. Totuși, liniile mari ale clasificării actuale tind să se uniformizeze și să se stabilizeze; rămîn unele diferențe de amănunt, dar ele interesează mai mult pe specialist. Această stabilitate, susținută de fapte științific fundamentate, permite întocmirea unor arbori genealogici mai reali.

ARBORII GENEALOGICI. Un arbore genealogic este o reprezentare grafică ce pune în evidență legăturile de filiație ale animalelor și apariția lor în timp. El exprimă în mod evident starea cunoștințelor în momentul realizării lui. Vom lăsa deoparte arborii genealogici ai claselor și încrengăturilor pentru a lua în considerare doar pe cel al regnului animal în ansamblu. Cele patru concepții — ale lui A. Heintz (1939), L. Cuénot (1940 și 1951), A. Vandel (1949) și P.P. Grassé (1961) — au un aspect general asemănător: o formă de Y, deci o ramură mediană care se împarte în două ramuri divergente, pe care succesiunea încrengăturilor este aproape aceeași. Independența celor două ramuri divergente este subliniată de deosebiri profunde, de caractere opuse. Arborii genealogici mai recenți sînt, evident, cei mai compleți[7].

Se observă diferențe mai ales în pozițiile relative ale anumitor clase, familii sau ordine. Concepția lui Cuenot ține seamă de două medii esențiale, aerul și apa; această precizare mărește dificultățile de realizare, dar ea evidențiază un fapt important, și anume că cele două extremități distale ale ramurilor lui Y se încheie prin filumuri cu o locomoție activă, reprezentate prin vertebrate și artropode superioare, total adaptate la viața aeriană.

O comparație între sistematica zoologică de la începutul secolului al XX-lea și cea din 1960 scoate în evidență numeroase retușări și transformări profunde; și unele, și celelalte au dus la perfecționări sensibile. Sistematica a fost disprețuită și neglijată o perioadă îndelungată din secolul al XX-lea (către anii 1930 și următorii); lipsa unor lucrări importante de sistematică a avut consecințe destul de supărătoare. Dar, treptat, disprețul a cedat în fața necesității. Din fericire, și spiritul s-a modificat; atotputernicia sistematicianului cu vederi înguste a dispărut; vechea taxonomie, oarecum simplistă, a fost înlocuită de o sistematică rațională care se bazează pe filogenie și acordă atenție geneticii.

C. INVENTARUL FAUNISTIC

În cursul secolului al XX-lea, inventarul faunistic s-a îmbogățit considerabil. Au fost descoperite și descrise specii noi aparținînd majorității ordinelor. Multe dintre acestea au trecut neobservate din cauza micimii lor; dar chiar și existența unor animale de dimensiuni apreciabile era necunoscută, după cum dovedesc unele descoperiri recente.

---

[7] Notăm pe cel prezentat de R. Codreanu în „Grands Problèmes controversés de l'Évolution Phylogénétique des Métazoires" (1970). — *M.-F.V.* și *S.M.*

VERTEBRATE. Unul dintre evenimentele cele mai senzaţionale l-a constituit descoperirea unui peşte crosopterigian, celacantul *Latimeria chalumnae*, denumit astfel de J.L.B. Smith. Acest filum, unul dintre cele mai vechi, datînd de la începutul devonianului, era considerat ca fiind stins încă din perioada cretacică.

Un reprezentant tipic al acestui grup a fost pescuit (1938) pe coasta orientală a Africii de sud, în apropiere de vărsarea micului fluviu Chalumna; un al doilea exemplar a fost capturat în 1952 în vecinătatea arhipelagului Comore. Ambele exemplare se găseau într-o stare destul de deteriorată. Un studiu sistematic a fost organizat de Institutul de cercetări ştiinţifice din Madagascar (Rep. Malgaşă) cu ajutorul administraţiei locale. Această campanie a permis capturarea în trei ani, în vecinătatea Comorelor, a încă 10 noi celacanţi în bună stare. Specialişti din diverse ţări participă la studiul lor sub conducerea lui J. Millot. Aceşti peşti crosopterigieni contemporani, avînd o lungime de 140 cm şi o greutate de 40 kg, trăiesc în apele adînci de 150—800 m. Anatomia şi fiziologia lor prezintă un imens interes.

Prin 1900 a fost descoperită în pădurile din Congo okapi, o girafidă, prezentă acum în majoritatea marilor parcuri zoologice.

NEVERTEBRATE. În 1952, expediţia daneză „Galathea" a recoltat în Oceanul Pacific, la vest de Costa Rica, într-o plasă tîrîtă pe fund la 3 570 m adîncime, vreo 10 exemplare dintr-o moluscă necunoscută, *Neopilina galatheae*.

Animalele (37 mm lungime pe 35 mm lăţime) au fost descrise de H. Lemche (1957); apoi Lemche şi K.G. Wingstrand au efectuat studiul lor anatomic amănunţit (1959). O altă specie nouă, total diferită, *Neopilina ewingi*, a fost descoperită de Clarke şi Menzies în largul coastelor Perului (1959). Aceste moluşte aparţin clasei Monoplacofore care cuprinde numai cîteva ordine de moluşte dispărute şi mai ales pe cel numit *Tryblidioidea*, cunoscut îndeosebi în cambrian şi silurian, şi dintre care *Neopilina* este singurul reprezentant actual.

O altă descoperire senzaţională din ultimele decenii a fost cea a pogonoforelor, animale marine lungi de 5,5 cm pînă la 30 cm şi care trăiesc în tuburi secretate de ele însele[8].

Primul pogonofor, descris de Caullery sub denumirea de *Siboglinum weberi* (1914), a fost descoperit de expediţia olandeză de pe nava „Siboga", în largul Arhipelagului Malayez. Proasta sa stare de conservare nu a permis un examen amănunţit. Totuşi în 1931, Caullery l-a clasat ca o anexă la stomocordate. Un al doilea reprezentant, *Lamellisabella zachsi*, a fost descoperit de P. Uşakov (1932), care l-a inclus printre polichete. Bazat pe studii histologice, K.E. Johannson (1937—39) a respins această clasare şi l-a considerat drept tipul unei noi clase, *Pogonofore*. În sfîrşit, lucrările lui V.N. Beklemişev (1944) au dovedit că pogonoforele reprezintă o încrengătură specială, apropiată de stomocordate. Aceste animale reprezintă ultimii reprezentanţi ai unui grup odinioară înfloritor. În majoritatea cazurilor, ele sînt forme abisale iar descoperirea lor este legată de progresele oceanografiei.

---

[8] Remarcabilă este absenţa tubului digestiv la un grup de animale libere, digestia fiind exclusiv externă, la nivelul tentaculelor. Se cunosc exemplare şi din Marea Nordului. — *M.-F.V.* şi *S.M.*

Numeroasele exemplare recoltate de nava sovietică oceanografică „Viteaz“ dovedesc că pogonoforele constituie un element caracteristic al faunei bentonice din mările Extremului Orient, al foselor Kurilelor şi Japoniei; în schimb, sînt foarte rare în celelalte zone oceanice. În prezent, 43 de specii sînt descrise şi clasificate în 11 genuri. Marele specialist în studiul lor este sovieticul A.V. Ivanov.

Printre insecte, subclasa apterigotelor era cunoscută foarte puţin la sfîrşitul secolului al XIX-lea; numeroase specii noi au fost descoperite de atunci.

SPECIALIŞTII. Anumiţi cercetători s-au consacrat studiului taxonomic şi ecologic al unei familii, unui ordin, unei clase şi au devenit astfel specialişti experimentaţi, de reputaţie internaţională, cărora le sînt încredinţate determinările unor exemplare recoltate în diversele regiuni ale globului; ne este imposibil să-i cităm pe toţi aici. Acestei orientări a cercetărilor îi corespunde elaborarea unor studii faunistice vaste care acoperă arii geografice variabile.

Dacă cunoaşterea aprofundată a unui grup de către specialistul său oferă avantaje, specializarea exagerată a tinerilor zoologi încă de la începutul carierei lor este regretabilă; ea antrenează prea adesea o limitare a culturii lor biologice; tot ceea ce rămîne străin specialităţii lor este socotit lipsit de valoare, iar marile probleme pe care le ridică lumea vie nu le mai stîrneşte curiozitatea. Această stare de spirit se manifestă poate mai intens la sistematician, dar apare şi în celelalte discipline.

PALEONTOLOGIA NEVERTEBRATELOR. Numeroase şi importante cercetări privesc nevertebratele fosile: descrieri de specii noi, revizuiri şi îmbunătăţiri ale diagnozelor anterioare, monografii faunistice. Descoperirea unor zăcăminte variate geografic şi stratigrafic (devonianul scoţian, carboniferul din China, triasicul australian, permianul nord-american, permo-liasul ruso-siberian) oferă un material bogat. Perfecţionarea metodelor (plăci subţiri, utilizarea radiaţiilor X etc.) permite un studiu mai subtil şi o mai bună înţelegere a organismelor.

Foraminiferele şi radiolarii au fost mult timp singurele protozoare fosile cunoscute. În ultimii 20 de ani se ştie însă că toate protozoarele actuale au reprezentanţi fosili, cu excepţia sporozoarelor, care sînt exclusiv parazite.

Marele specialist al micropaleontologiei, G. Deflandre, asigură redactarea unui vast fişier micropaleontologic. Rămîne de efectuat studiul microchimic al materiei organice care formează microfosilele cu structură conservată. Cocolitoforidele identificate de Lohmann (1902) au constituit obiectul a numeroase cercetări. Clasificările succesive ale foraminiferelor au fost coordonate într-un sistem coerent (Douvillé, 1906; Cushman, 1927—48; Galloway, 1933; Chapman şi Parr, 1936; Glaessner, 1945). Legenda radiolarilor minusculi din precambrianul din Bretania (Franţa) a fost spulberată. Fosilizarea protozoarelor prezintă un caracter de continuitate care furnizează unele elemente problemei evoluţiei (Deflandre, 1950).

La sfîrşitul secolului al XIX-lea, cîteva lucrări consacrate microstructurii elementelor scheletice ale coralierilor au trecut neobservate. Hill (1936) a demonstrat interesul acestor cercetări, iar Wang (1950) a stabilit o clasificare bazată pe particularităţile astfel remarcate.

Briozoarele, foarte abundente în diverse epoci geologice, au fost studiate pe larg, valoarea lor stratigrafică fiind recunoscută în stratele terţiare (Canu, 1904), paleozoice (Bassler, 1922), devoniene (Kaisin etc., 1944), neogene (Stach, 1937).

Numeroase publicaţii au fost consacrate moluştelor fosile: tratatele şi cataloagele lui Thiele (1935), O. Abel (1916), Naef (1922), Spath (1934—51) etc.

Imensa încrengătură a artropodelor este bogat reprezentată în cursul diverselor perioade geologice; filogenia ei a stimulat o serie de sugestii interesante (Snodgrass, 1938; Störmer, 1944).

Proartropodele, încă incomplet cunoscute, au fost descrise de Walcott (după 1911), Hutchinson, Störmer (1949). Pe lîngă opera monumentală a lui Walcott asupra trilobiţilor, trebuie adăugate lucrările a numeroşi paleontologi, ca Westergärd (1910—53), Lake (1907—37) etc. Cîteva lucrări sînt consacrate artropleuridelor. Trei volume din *Fossilen Catalog* se referă la crustacee: *Crustacea Decapoda* (Glaessner, 1929), *Crustacea Eumalacostracea* (von Straelen, 1931) şi *Crustacea Phyllocarida* (von Straelen şi Schmitz, 1934). Diplopodele fosile au fost studiate de Verhoeff (1926), iar arahnidele fosile, mai ales de Petrunkevici. În 1908, Handlirsch publică prima mare sinteză sistematică şi filetică a insectelor. Colecţiile s-au îmbogăţit în mare măsură şi doar insectele fosile din Africa şi din sudul Americii rămîn aproape necunoscute. Recentele contribuţii ale lui Lameere (1935), Tillyard, Martynov, Carpenter au dat o orientare evolutivă paleoentomologiei.

D. PROTISTOLOGIA

În cursul secolului al XX-lea, protistologia şi-a continuat avîntul. Numărul cercetătorilor a crescut, iar cel al lucrărilor a devenit deosebit de abundent. Paralel s-au perfecţionat mult şi metodele.

B. Klein a adaptat metoda impregnaţiei argentice la protozoare; îmbunătăţiri au fost aduse acestei metode de J. von Gelei, apoi de Chatton şi Lwoff (impregnarea după înglobarea în gelatină sărată). Sonneborn a expus metodele de cultură şi de manipulare a parameciilor, utilizate în genetică şi în citogenetică. Principalele documente privitoare la cultura, fixarea şi colorarea protozoarelor sînt reunite în publicaţiile lui Kirby (1950), Wenrich şi Diller (1950), Mayer (1956), Corliss (1956); două volume mai vechi se ocupă de nutriţia protozoarelor (Sandon, 1932) şi de metodele de cultură (Needham, 1937).

Numeroase lucrări generale şi periodice de specialitate sînt consacrate protozoarelor.

Vom menţiona punerile la punct ale lui Calkins (1901, 1926, 1933), Minchin (1912), Schoenichen (1927), Kudo (1931—1954), O. Jiroveć şi colaboratorii (1953), Manwell (1961), precum şi primul tratat de protistologie în lim giel, 1954). Volume întreg au fost consacrate biologiei genului *Paramoecium* (Wichtermann, 1953) şi a genului *Stentor* (1961). Au fost create reviste de specialitate, dintre care cele mai recente sînt „Mikroskopie“

(1947) şi „The Journal of Protozoology" (1954). Prima Conferinţă internaţională de protozoologie a avut loc la Praga în 1961[9].

TAXONOMIE. Numeroase tipuri noi au fost descoperite şi descrise în monografii, dintre care unele sînt fundamentale, ca cea a lui S. Kahl asupra ciliatelor (1926—35). O mai bună cunoaştere a diverselor categorii sistematice a permis o mai justă înţelegere a legăturilor filogenetice şi, pe baza lor, a favorizat stabilirea unor noi clasificări care ţin seama de relaţiile de filiaţie.

Fauré-Fremiet a reînnoit clasificarea ciliatelor, rămasă aproape stabilă de la lucrările lui F. Stein (1854—67). El a analizat, de asemenea, ciclurile lor evolutive, cinetica dezvoltării lor, mecanismele de morfogeneză şi stomatogeneza, în timp ce Corliss (1952—60) s-a preocupat de evoluţia şi de filogenia lor.

CITOLOGIE ŞI SEXUALITATE. Studiul citologic al protozoarelor a constituit obiectul a foarte numeroase lucrări. Marea noutate constă în descoperirea ultrastructurilor datorită microscopiei electronice; aceste cercetări interesează mai ales membrana, citoplasma şi incluziunile sale (condriomul, aparatul Golgi, ergastoplasma).

Încă din 1923, Duboscq şi Grassé au omologat aparatul parabazal al flagelatelor cu aparatul Golgi al celulelor sexuale masculine de la metazoare. Aparatul Golgi a fost observat la toate protozoarele, iar structura sa precizată (Grassé, 1955—58); modul său de reproducere a fost analizat încă din 1935 (Grassé şi Faure). Descoperită în 1897 de Ch. Garnier în diverse celule glandulare, ergastoplasma a fost observată la cele mai diferite protozoare, iar prezenţa sa pare a fi generală[10]. Microscopia electronică a arătat unitatea structurală a celulelor animale şi vegetale. Picken (1960) a luat în considerare organizarea celulară din punct de vedere macromolecular. Grimstone (1961) a făcut o revizuire critică a ultrastructurilor şi a morfogenezei la protozoare. Tipurile de mitoză şi fazele ei succesive au fost analizate mai ales de Grassé şi A. Hollande.

Au fost efectuate importante cercetări asupra sexualităţii protozoarelor. Şcoala franceză, strălucit reprezentată de L. Léger, O. Duboscq, E. Chatton etc., a jucat un rol important în acest efort.

Ciclurile evolutive ale diverselor protozoare au fost descoperite şi analizate. Duboscq şi Léger au lămurit ciclurile la *Aggregata* (coccidii heteroxene) şi la *Porospora* (gregarine heteroxene). Studiul aprofundat al sexualităţii gregarinelor a fost efectuat de Cuénot şi mai ales de Léger şi Duboscq. Ultimul a detectat caracterele morfologice ale diferenţierii sexuale şi a introdus astfel noţiunea de sexualizare citoplasmică ce va fi precizată ulterior de Joyet-Lavergne. Léger descoperă anizogamia gregarinelor şi descrie adevărata morfologie a microgameţilor de coccidii. Woodruff arată că paramecii se pot perpetua indefinit fără o reproducere sexuată (1911—21). Chatton şi Chatton au dovedit că declanşarea reproducerii sexuate este determinată de factori ai mediului care se manifestă într-o cultură masivă, sub acţiunea însăşi a infuzorilor. Astăzi se ştie că determinarea sexualităţii la protozoare are două aspecte, dintre care unul se găseşte sub influenţa factorilor externi (tip Chatton), în timp ce celălalt este gametic (tip Maupas).

---

[9] A doua conferinţă şi-a desfăşurat lucrările la Londra (1965), iar a treia întîlnire a fost Congresul de la Leningrad (1969). — *M.-F.V.* şi *S.M.*

[10] Pe suprafaţa externă a ergastoplasmei există mici granule bogate în ARN, numite *granulele lui Palade*, probabil cu rol în geneza protidelor. — *M.-F.V.* şi *S.M.*

Biochimia şi fiziologia protozoarelor au constituit obiectul unor cercetări foarte interesante.

Au fost studiate numeroase probleme de biologie generală: degenerescenţa şi moartea, determinarea sexului şi problema speciei la parameci, regenerarea (Lillie, 1896; Morgan, 1901, etc.; Yow, 1958), grefa, mutaţia, numărul de cromozomi (Ray, 1954; Schwartz), ereditatea (Jennings, Sonneborn, Nanney, Dippell).

ECOLOGIE ŞI ETOLOGIE. Ecologia protozoarelor este bine studiată; popularea diverselor biotopuri (uscat, mare, ape dulci) şi adaptările morfologice caracteristice fiecăruia dintre acestea au fost analizate de numeroşi cercetători.

Încă din 1897, Jennings a studiat reacţiile protozoarelor la diferiţi stimuli; el şi-a continuat studiile asupra comportamentului, publicînd în 1931 o sinteză asupra acestei probleme; galvanotropismul paramecilor şi fototropismul stentorilor au fost experimentate de Viaud (1956) şi de Tuffrau, în timp ce comportamentul privind capturarea şi înghiţirea prăzii a fost analizat de Woodruff şi Spencer (1929), şi de Hull (1954–61).

SIMBIOZA FLAGELATE-TERMITE. Această simbioză prezintă un mare interes. Flagelatele termiticole şi blasticole joacă un rol capital în nutriţia gazdelor lor, în special a termitelor al căror regim alimentar este xilofag: ele digeră lemnul[11].

Cleveland, din 1923, Duboscq, Grassé, Holande, Kirby, Pierantoni şi numeroşi alţi cercetători au încercat să rezolve problemele ridicate de această strînsă asociere: constanţa infestării, transmiterea şi ciclul flagelatelor simbiotice, digerarea lemnului, repartiţia şi evoluţia flagelatelor termiticole.

E. PARAZITISMUL ŞI PARAZITOLOGIA

Remarcabilul avînt din secolul al XIX-lea a continuat; noile rezultate sînt variate şi importante. Într-adevăr, parazitismul prezintă un dublu interes prin deformaţiile adesea regresive pe care le antrenează şi prin alteraţiile pe care le provoacă gazdei.

PROTOZOARELE. Protozoarele parazite oferă un vast domeniu de cercetări. Au fost descrişi numeroşi paraziţi noi.

În 1906, Chatton a descoperit primii peridinieni — dinoflagelate parazite — (din genul *Blastodinium*), care trăiesc în intestinul copepodelor pelagice, şi a studiat modul lor de înmulţire. El s-a ocupat de *Syndinium*, care se găseşte în celomul copepodelor, în sîngele crabilor şi chiar în unii peridinieni. La aceştia din urmă parazitismul duce la o degradare profundă care poate merge pînă la dispariţia morfologiei externe, rămînînd intacte doar caracterele nucleare.

---

[11] La *Reticulitermes lucifugus*, singura termită care ajunge pînă în regiunile noastre (45° lat. N.), M. A. Ionescu şi A. Murgoci (1948–1950) au găsit trei specii de hipermastigine. — *M.-F.V.* şi *S.M.*

Parazitologia experimentală a evidenţiat o serie de gazde intermediare sau le-a precizat modurile de infestare.

Dovada experimentală a transmiterii de către flebotomi a flagelatului *Leishmania donovani*, care provoacă boala kala-azar, a fost furnizată de Napier, Smith şi Krishman (1933). Roubaud a experimentat asupra transmiterii paludismului, iar fraţii Sergent au făcut cercetări asupra infectării latente în paludism[12]. Chatton a pus în evidenţă rolul membranei peritrofice în infectarea insectelor cu tripanozome. Au fost publicate o serie de lucrări de sinteză asupra tripanozomelor şi tripanozomiozelor (Laveran şi Mesnil, 1912), precum şi asupra leishmaniozelor (Laveran, 1917). Cercetări mai recente asupra tripanozomidelor se datoresc lui Chagas, Chatton, Corson, Lwoff etc.

Numeroşi biologi au întreprins studii asupra sporozoarelor[13] (gregarine, coccidii şi cnidosporidii). În afară de tratatul fundamental al lui F. Doflein (1901; ediţia a VI-a, 1949—1953, de Doflein şi Reichenow), lucrările generale ale lui Curasson (1943), Neveu-Lemaire (1952), Levine (1961) au furnizat sinteze interesante asupra parazitismului protozoarelor.

METAZOARELE. Numeroase cercetări au fost efectuate asupra parazitismului la metazoare, descriindu-se paraziţi noi, completîndu-se diagnozele anterioare şi analizîndu-se modalităţile sexualităţii, ciclurile de reproducere, fiziologia larvelor libere şi a paraziţilor adulţi, nutriţia paraziţilor, necesităţile lor de oxigen şi propagarea lor, specificitatea parazitară, evoluţia parazitismului, condiţiile de pătrundere în gazdă, adaptările reciproce ale parazitului şi ale gazdei.

Împreună cu Mesnil, Caullery a arătat că ortonectidele prezintă o alternanţă de generaţii; apoi el a studiat experimental reproducerea lor sexuată. A. Lameere şi H. Nouvel s-au ocupat de diciemidele parazite. Marile încrengături ale platelminţilor şi nematelminţilor, care cuprind mai multe clase formate exclusiv din paraziţi, au atras numeroşi specialişti. Parazitismul la crustacee şi la insecte prezintă o mare varietate. Ciclurile dezvoltării insectelor fitofage au fost lămurite de Marchal, Picard, Balachowsky etc.

Specificitatea parazitară, care este o noţiune complexă, prezintă aspecte foarte diferite, de la condiţii foarte stricte pînă la o mare labilitate. Lupta împotriva paraziţilor patogeni ia diverse forme; Roubaud şi W. Lund au preconizat o metodă trofică de luptă. Biroul de entomologie al Statelor Unite a reunit documentele referitoare la insectele entomofage şi informaţiile asupra paraziţilor insectelor dăunătoare în scopul organizării luptei biologice. C. P. Clausen a publicat *Entomophagus Insects* (1940). După 1939, descoperirea unor insecticide de sinteză (DDT, HCH etc.) a favorizat în mod considerabil lupta insecticidă.

---

[12] De problema paludismului, astăzi eradicat în România, se leagă numele unor parazitologi români de mare prestigiu: M. Ciucă, Gh. Zotta, Gh. Lupaşcu, E. Ungureanu ş.a. — *M.-F.V.* şi *S.M.*

[13] Şcoala românească are o contribuţie importantă la cercetarea grupului sporozoarelor şi prin descoperirea, în 1888, de către Victor Babeş, a agentului hemoglobinuriei vitelor cornute, *Haematococcus bovis*, astăzi *Babesiella bovis*, şi prin dezvoltarea ulterioară a studiilor asupra babesiilor la noi de către Starcovici, C. Motaş, Al. Ciucă şi I. Cernăianu; acesta din urmă a sintetizat rezultatele cercetărilor de pînă la el în monografia *Piroplasme şi piroplasmoze* (1957—1918). — *M.-F.V.* şi *S.M.*

ACŢIUNEA PARAZITULUI ASUPRA GAZDEI. Parazitul exercită diferite acţiuni asupra gazdei şi mai ales asupra metabolismului acesteia.

La o furnică americană, lucrătoarele parazitate de *Mermis* se hipertrofiază (Wheeler, 1910). G. Smith (1910—1911) a arătat că *Sacculina* provoacă la crabul pe care îl parazitează, de orice sex ar fi acesta, realizarea unui metabolism caracteristic femelei. Modificările determină o castrare parazitară prin atrofierea glandelor genitale şi prin alterarea corelativă a caracterelor sexuale secundare ale masculului în sensul sexului femel (lucrările lui A. Giard, 1911—1914; G. Smith, Okada şi Myashita 1935; Ch. Pérez).

Importanta problemă a imunităţii faţă de infecţiile parazitare a fost studiată de americani: imunitatea în infecţiile cu tripanozome şi în malarie (W.H. şi L.B.Taliaferro, 1925), imunitatea în infecţiile cu nematode (W.H.Taliaferro, Cannon, Huff, Carles etc.). Imunitatea dobîndită a fost studiată de Blacklock şi Gordon şi de Miller.

Importante lucrări referitoare la parazitism în general sau la unele din aspectele sale au fost publicate recent de Baer (1952), Belding, von Brandt, Pierkarski, Read, Cameron (1956), Chandler şi Read (1961), Rogers (1962).

COMENSALISM ŞI SIMBIOZĂ. Au fost descrise noi cazuri de comensalism: paguri asociaţi cu actinii, hidrari, polichete, copepode, amfipode, crabi care poartă o actinie pe fiecare dintre cleştii lor, furnici şi termite convieţuind cu diverse insecte, comensali ai cinipidelor galicole (Picard), complexul etologic la *Phascolion strombi* (Pérez).

Au mai fost observate şi fenomene de simbioză.

Protozoare sau bacterii mişună în tubul digestiv al unor insecte sau al larvelor; Wigglesworth (1948) semnalează că ploşniţa *Rhodnius* găzduieşte în intestinul său bacterii simbiotice care produc vitaminele B, absente în sîngele ei. Un alt caz este cel al flagelatelor care trăiesc în intestinele termitelor (pag. 682). Infuzorii din burduful rumegătoarelor, din cecul calului, din stomacul hîrciogului participă la digerarea celulozei (Hungate). Burduful rumegătoarelor mai conţine şi o bacterie celulolitică (J. Pochon). Micetomele insectelor nu au fost interpretate decît în 1910 de Pierantoni şi de Sulc. Simbioza bacteriană la animalele hemofage uşurează digerarea proteinelor şi a elementelor celulare ale sîngelui (Roubaud). După Pierantoni (1928), luminescenţa la animale (insecte, moluşte cefalopode) ar rezulta dintr-o simbioză regulată cu bacterii fotogene.

Unul dintre biologii care au cercetat cu cea mai mare perseverenţă simbioza intracelulară este P. Buchner, care a publicat două lucrări importante (1930 şi 1939) asupra acestui subiect.

F. ENDOCRINOLOGIA NEVERTEBRATELOR

Această problemă de mare actualitate constituie obiectul unor cercetări active, după cum dovedesc două reuniuni internaţionale importante asupra endocrinologiei artropodelor (1947) şi asupra endocrinologiei nevertebratelor (1955).

Glandele endocrine ale insectelor au fost iniţial confundate cu formaţii simpatice ale regiunii cefalice.

Încă din 1762, P. Lyonet menţionează două perechi de ganglioni situaţi de o parte şi de alta a farinxului, în spatele cerebroizilor. Heymons (1897—99) semnalează la *Phasmo* structura deosebită a celei de-a doua perechi de ganglioni, pe care a numit-o *corpora allata*. În 1913, A. Nabert studiază aceste organe pe care le consideră drept glande endocrine, părere confirmată de cercetările ulterioare (B. de Lerma, 1932—37; O. Pflugfelder, 1936—37; B. Hanström, 1940—42).

Rolul primei perechi de „ganglioni simpatici“ descoperiţi de Lyonet nu a fost recunoscut decît mai tîrziu. De Lerma este tentat să le acorde o funcţie endocrină. Pflugfelder analizează structura şi embriologia lor şi le dă numele de *corpora cardiaca*. Hanström reia studiul lor, considerîndu-le drept organe neurosecretoare, în timp ce P. Cazal efectuează un studiu de ansamblu al glandelor retrocerebrale ale insectelor.

După 1931, a fost recunoscută neurosecreţia la nevertebrate.

Hanström a descoperit în pedunculul ocular al diferitelor malacostracee celule nervoase care prezintă caractere morfologice asemănătoare celulei glandulare; după ce a comparat observaţiile sale cu cele ale lui E. Scharrer (1928—30) asupra peştilor teleosteeni, el le-a denumit organul X. Celulele neurosecretoare ale moluştelor gasteropode sînt descrise de B. Scharrer (1935), iar cele ale insectelor, de Weyer (1935). Cercetările se multiplică; articolele de sinteză ale lui E. şi B. Scharrer (1937—53) stabilesc bilanţul realizărilor.

Celule neurosecretoare sînt semnalate şi la alte diverse grupuri: polichetele erante şi sedentare, oligochete, hirudinee, sipunculide, onicofore, moluşte şi artropode. La acestea din urmă, analize aprofundate au precizat legăturile celulelor neurosecretoare cu glandele endocrine. S-a dovedit, de asemenea, că organele frontale ale tisanurelor au structuri şi funcţii analoage.

După studiile morfologice, anatomice şi histologice, au urmat cercetările experimentale. Au fost detectate funcţii endocrine la crustacee şi la insecte. S-a stabilit astfel că un determinism endocrin asigură năpîrlirea crustaceelor malacostracee.

În urma observaţiilor lui Megusar (1912), confirmate la diverse decapode de către numeroşi autori, s-a stabilit prezenţa unui principiu inhibitor al năpîrlirii (1939—44); elaborarea sa părea a avea loc în glanda sinusului, formaţie endocrină situată în pedunculul ocular. Passano arată însă (1951—53) că această glandă serveşte numai drept rezervor şi că factorul este, de fapt, secretat de organul X. La anumite crustacee, cuplul organul X şi glanda sinus par a exercita o acţiune inhibitoare asupra creşterii glandei androgene. În 1950—53, Gabe a pus în evidenţă în cefalonul anumitor crustacee o glandă endocrină pereche, organul Y sau glanda năpîrlirii.

La insecte, primele verificări experimentale au fost încercate pe o ploşniţă hematofagă, *Rhodnius prolixus*, de către eminentul fiziolog V.B.Wigglesworth (1933—39); experienţe foarte delicate de decapitare, de parabioză şi de grefă au pus în evidenţă o acţiune hormonală stimulatoare în declanşarea năpîrlirii.

Experienţe asemănătoare de parabioză realizate de S. Ochsé (1944) asupra larvelor de *Sialis* au confirmat această observaţie. Prin efectuarea unor ligaturi în diverse regiuni ale larvei, Geigy şi Ochsé au dovedit declanşarea pe cale hormonală a metamorfozei. Efectuînd experienţe asupra metamorfozei omizilor de *Bombyx mori* (1936—38), J. J. Bounhiol a detectat în *corpora allata* un hormon inhibitor al năpîrlirii imaginale, iar Weed-Pfeiffer (1936—39) a pus în evidenţă rolul acestor organe în maturarea ovulelor de lăcustă. Experienţele a numeroşi autori au confirmat acţiunea unei secreţii a *corporei allata* asupra accelerării metamorfozei larvei şi pupei diverselor insecte, precum şi asupra ciclului ovarian al femelelor.

Rolul endocrin al glandelor retrocerebrale la insecte este deci indiscutabil. Rezultă că dezvoltarea postembrionară a insectelor este reglată de trei glande endocrine:

1) Celulele neurosecretoare ale creierului stimulează glanda protoracică;
2) Aceasta secretă hormonul năpîrlirii, sau ecdizona, pe care P. Karlson şi A. Butenandt au reuşit s-o izoleze pornind de la crisalide de *Bombyx* (1954);
3) *Corpora allata* secretă hormonul juvenil.

În prezenţa acestor doi hormoni, năpîrlirea este larvară; în absenţa hormonului juvenil, năpîrlirea este imaginală şi dă naştere la *imago* (adult).

În ultimii 30 de ani, rezultatele endocrinologiei insectelor, care este o ştiinţă deosebit de actuală, au permis lămurirea unor probleme complexe referitoare la sexualitate şi la dezvoltare. Multe aspecte rămîn de lămurit, dar trebuie subliniat că nici o diferenţă esenţială nu apare în modalităţile endocrinologiei la vertebrate şi la nevertebrate, şi în special la artropode.

Corpora cardiaca, glanda sinusului şi glanda ventrală a crustaceelor amintesc complexul hipotalamo-hipofizar al vertebratelor. De asemenea, la insecte, raporturile dintre *pars intercerebralis* şi *corpora cardiaca* cu circulaţia produselor de secreţie de-a lungul axonilor sugerează legăturile existente între antehipofiză şi hipotalamus. Rolul stimulator al hormonului celulelor neurosecretoare ale creierului este comparabil cu acţiunea stimulinelor hipofizare. Aceste analogii, care trebuie să fie considerate drept fenomene de convergenţă, au fost dezvoltate de Hanström (1941), B. şi E. Scharrer (1944).

G. PROBLEMA REPRODUCERII LA NEVERTEBRATE

La sfîrşitul secolului al XIX-lea nu se ştia dacă conjugarea ciliatelor reprezintă o necesitate periodică şi dacă o multiplicare asexuată prelungită nedefinit este compatibilă cu viaţa. Actualmente răspunsul este dat de diverse experienţe cu rezultate concordante.

Între 1911 şi 1921, Woodruff a reuşit să perpetueze fără reproducere sexuată parameci ţinuţi în culturi izolate. Zoologul belgian Brien a crescut hidre în condiţii favorabile numai înmuguririi lor (stabilitatea mediului, eliminarea deşeurilor prin repicare); din hidra-mamă se desprind muguri care, fiind separaţi în culturi izolate, devin la rîndul lor originea unor noi muguri, de asemenea, cultivaţi izolat. În aceste condiţii, hidra pare a fi nemuritoare. Tot astfel Korschelt a înmulţit, timp de 60 de ani, pe cale asexuată un anelid polichet; această cultură s-a pierdut accidental (1942).

Deci la anumite grupuri, reproducerea sexuată nu pare a fi o necesitate vitală. Perpetuarea speciilor care nu prezintă aproape niciodată masculi, ci doar femele partenogenetice (fasme şi anumiţi rotiferi), dovedeşte că sexualitatea nu este indispensabilă menţinerii speciilor.

1. Reproducerea

Au fost efectuate numeroase cercetări asupra reproducerii sexuate la nevertebrate. S-au precizat citologia gameţilor şi caracterele lor. Teoria sexualităţii propusă de Joyet-Lavergne se bazează pe diferenţele fizico-chimice observate între gameţii masculi şi femeli.

Modalităţile fecundării au fost şi ele analizate. Gatenby a descoperit fecundarea indirectă a spongierilor, căreia Tuzet şi Duboscq i-au precizat amănuntele şi variantele în 1931. Fecundarea hemoceliană nu este rară la heteroptere. Reacţia corticală de fecundare sau de activare a stimulat numeroase cercetări la diverse grupuri: echinoderme, moluşte, anelide, echiuride, nematode, filopode, ascidii.

SOMA ŞI GERMENUL. Ideea lui Weismann, care stabilea o separare precoce a somei şi a germenului, a fost verificată prin observaţii citologice efectuate asupra ouălor de *Ascaris*, de *Ciclops* sau de anumite insecte, toate posedînd un determinant germinal. Diverse experienţe de regenerare, efectuate la celenterate şi la briozoare (Brien şi colab.), la oligochete şi la planarii, au dovedit însă că o linie sexuală se reconstituie pornind de la celulele somatice. Dealtminteri, remarcabilele lucrări ale lui Brien asupra hidrei de apă dulce nu sînt compatibile cu existenţa unei linii germinale distincte.

CARACTERE SEXUALE SECUNDARE. La nevertebrate aceste caractere sînt abundente şi diverse: diferenţe de talie (masculii pitici de rotiferi de la unele crustacee), cleşti uriaşi la unii crabi masculi, deosebiri de coloraţie la fluturi, variate ornamente cuticulare la insecte, parfumul emanat de unele femele etc. Dar determinismul acestor caractere este încă foarte puţin cunoscut. La artropode, intervenţia hormonilor sexuali nu a fost general demonstrată.

Extirparea glandelor sexuale la larvele şi adulţii de greier, la omizi şi la fluturi nu împiedică dezvoltarea caracterelor sexuale secundare. În schimb, Hélène Charniaux-Cotton a arătat (1952—55) că diferenţierea sexuală a masculilor genetici ai anumitor crustacee este determinată de secreţia glandelor androgene, separate de gonadă. Acestea reprezintă singurul exemplu de glande endocrine sexuale individualizate. Implantarea lor la o femelă provoacă într-adevăr apariţia caracterelor sexuale ale masculului.

În ultimul deceniu au fost intens studiate la anelide determinismele endocrine ale activităţii genitale şi ale modificărilor somatice în raport cu reproducerea şi evoluţia proceselor de regenerare.

Creierul de nereide exercită o acţiune inhibitoare asupra maturării genitale şi asupra transformării heteronereidiene (Defretin, Durchon, Hauenschild). La oligochete, rezultatele obţinute par a fi favorabile existenţei în sistemul nervos a unor factori hormonali indispensabili formării şi menţinerii caracterelor sexuale secundare şi depunerii pontei (Avel, Herlant-Meewis, Hubl). La anelide, fenomenele sexuale depind de acţiunea unor hormoni, elaboraţi în general de celulele neurosecretoare ale ganglionilor cerebroizi.Nu există deci glande endocrine ca la artropode. Dar în determinismul activităţii genitale, anumiţi factori adaugă acţiunile lor la cele ale hormonilor; fotoperiodismul şi nutriţia exercită o influenţă netă.

PARTENOGENEZA. În urma remarcabilei descoperiri a americanului J. Loeb (1899) (vol.III, pag. 536), Y. Delage a obţinut prin metode diferite partenogeneza la steaua-de-mare şi apoi la ariciul-de-mare. La albină a fost observată partenogeneza arhenotocă; ouăle fecundate se transformă în femele, în timp ce ouăle nefecundate dau masculi.

Lucrarea fundamentală a lui Meves (1907) asupra spermatogenezei la albină a arătat că prima diviziune a spermatocitelor este abortivă regresată; în acest caz spermatogeneza se efectuează fără meioză, iar spermatozoidul haploid, ca şi trîntorul, conţine N cromozomi.

Vandel (1940) a recunoscut existenţa unei aşa-numite partenogeneze geografice: aceeaşi specie, în funcţie de regiuni, cuprinde fie aproape numai femele, fie ambele sexe în proporţii aproximativ egale. Pe de altă parte, partenogeneza este însoţită adesea de poliploidie.

Pedogeneza sau partenogeneza în stare larvară, studiată la diptere încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, stimulează şi acum o serie de cercetări. Partenogeneza ciclică se caracterizează printr-o alternanţă regulată sau neregulată a unor generaţii bisexuate şi unisexuate (femele partenogenetice); unele cercetări se referă la determinismul ei la anumite crustacee (Mortimer, 1937; Dehn) şi la rotiferi (Luntz, 1926; Tauson, Buchner).

Ginogeneza naturală sau pseudogamia există la nematode[14]; Nigon (1947) i-a precizat modalităţile.

INTERSEXUALITATEA. Bipotenţialitatea sexuală, care este un fenomen general la metazoare, se manifestă din plin la cele hermafrodite; cînd sexele sînt separate, una dintre potenţialităţi o depăşeşte pe cealaltă şi o inhibă mai mult sau mai puţin total. Totuşi apar o serie de stări intermediare între cele două sexe ca anomalii, cunoscute sub numele de intersexualitate. Cazul unui echiurid marin, *Bonellia*, este mai ales bine studiat.

---

[14] Ginogeneza naturală se cunoaşte şi la planarii (Lepori, Benazzi şi şcoala lui), iar la vertebrate a fost descrisă pentru întîia oară de T. Buşniţă, A. Cristian, I. Steopoe, M. Nedelea şi C. Drăgotoiu (1957), la *Carassius auratus gibelio* (Cyprinide) din România. — *M.-F.V.* şi *S.M.*

Încă din 1868, A. Kovalevski a descoperit la *Bonellia viridis* un dimorfism sexual accentuat. Masculul minuscul măsoară 2—3 mm, în timp ce trompa femelei poate atinge 1 m, la un corp de 6 cm. Organizația masculului este rudimentară și doar sistemul nervos și aparatul genital sînt bine reprezentate. Masculii trăiesc ca paraziți pe corpul femelei sau în uter.

La naștere, larvele de *Bonellia* au o stare sexuală nediferențiată; prin metamorfoză, ele pot deveni masculi sau femele. O larvă izolată care cade la fundul apei se transformă în femelă. O larvă care se fixează pe corpul unei femele adulte și care se hrănește cu secreția trompei timp de 48 de ore devine un mascul pigmeu (Spengel, 1879). Remarcabilele experiențe ale lui F. Baltzer (1914—26) dovedesc că evoluția larvei spre sexul mascul este provocată de un hormon masculinizant conținut în secrețiile trompei; o serie de experiențe ulterioare au stabilit caracterul evolutiv al acestei acțiuni. Herbst (1928—40) a observat că intervin și electroliții din apa de mare.

Baltzer a remarcat că la un procent mic de larve sexul nu părea să depindă de acțiunea hormonală; în acest caz se poate presupune că mecanismul genotipic al determinării sexului intervine cu o forță mai mare. Intersexualitatea la *Bonellia* dovedește acțiunea decisivă a unor substanțe definite într-o perioadă convenabilă a dezvoltării. Hartmann (1943) consideră că toate larvele au o bipotențialitate sexuală genotipică echivalentă hermafroditismului și că determinarea sexului rezultă din acțiunea mediului.

Cazuri destul de asemănătoare au fost observate la moluște, anelide, crustacee, nematode. Experiențele lui Reverberi și Pittotti par a demonstra că la crustaceele parazite masculii pitici care parazitează femelele au o sexualitate determinată de factori extrinseci.

Alături de această intersexualitate provocată de factori ce provin mai mult sau mai puțin direct de la exterior, la insecte există o intersexualitate determinată de factori genotipici.

Cercetările lui R. B. Goldschmidt, urmărite timp de peste 20 de ani la *Lymantria dispar*, fluture care atacă stejarul, au dovedit existența unei intersexualități realizată prin încrucișări. Efectuînd încrucișări metodice între rase europene și japoneze, Goldschmidt a constatat că intersexualitatea se manifestă la sexul care la prima încrucișare aparține rasei mai slabe. Prin combinații variate, el a obținut toate gradele de intersexualitate cu o structură hermafrodită a gonadelor și pînă la inversiunea completă a sexului genotipic în sexul opus. Intersexualitatea se realizează în două faze: individul se dezvoltă inițial după sexul său genotipic și apoi, după inversiunea diferențierii sexuale, dezvoltarea are loc conform sexului opus. Ea este cu atît mai intensă, cu cît momentul inversiunii este mai precoce. Toate aceste fapte sînt compatibile cu un mecanism hormonal care intervine mai devreme sau mai tîrziu în dezvoltare. După studiile efectuate asupra unui microlepidopter din genul *Solenobia*, J. Seiber și colaboratorii (1937—49) consideră că în intersexualitatea realizată prin încrucișări intervin și o serie de factori ai mediului. Fenomene de intersexualitate au fost observate la păduchi (Keilin și Nuttall, 1914—18), la efemere (M. și R. Codreanu, 1931), la dafnii (Banta și R. de La Vaulx, 1921) și la crustacee purtătoare de glande androgene.

GINANDROMORFISMUL. Ginandromorfismul este o formă specială de intersexualitate în care individul se prezintă ca un mozaic de părţi, unele cu aspect mascul şi altele cu aspect femel.

Au fost semnalate unele cazuri de ginandromorfism la crustacee şi la arahnide; dar exemplele cele mai numeroase se observă la insecte; primele albine ginandromorfe, descrise de Siebold în 1854 (vol. III, pag. 534), au fost reexaminate în 1915 de Boveri. Goldschmidt şi Katsuki (1927) au reuşit să realizeze sistematic ginandromorfismul la viermele-de-mătase.

Diverse teorii ale ginandromorfismului au fost propuse de Morgan (1919), Boveri (1916), Doncaster (1915) şi Whiting (1927).

REPRODUCEREA ASEXUATĂ. În afară de cazul hidrei, reproducerea asexuată este deosebit de interesantă cînd se manifestă la reprezentanţii unui grup în care este obişnuită reproducerea sexuată.

Acest caz se întîlneşte la turbelariate, trematode, cestode, anelide, crustacee rizocefale. Reproducerea asexuată a turbelariatelor triclade a fost examinată de numeroşi zoologi, de la Vandel (1922) pînă la Dahm (1956—58)[15]. Printre polichete a fost observată multiplicarea schizogamică la silidieni. Allen (1927) şi Okada (1929) au provocat o schizogonie experimentală la anumite specii adăugînd apă distilată în apa de mare în care trăiau acestea. Oligochetele limicole se multiplică adesea prin schizogonie. Sciziparitatea elosomatidelor a fost studiată de H. Herlant-Meevis (1950—54).

Poliembrionia sau fragmentarea embrionilor, care constituie un proces de reproducere asexuată, a fost descoperită de P. Marchal (1904) la anumite himenoptere parazite ale omizilor[16].

De reproducerea asexuată se leagă şi capacitatea de regenerare ce se manifestă mai ales la celenterate, planarii şi oligochete. Sistemul nervos condiţionează posibilităţile de regenerare. Rezultatele obţinute în acest domeniu sînt expuse de A. E. Needham (1953) şi de H. A. Stollte (1955)[17].

Cercetările asupra reproducerii asexuate a spongilidelor (formarea de gemule, condiţiile hibernării şi germinării lor) au fost uşurate prin folosirea metodei culturilor în mediu controlat (Rosmont).

2. Embriologia

Embriologia experimentală, ale cărei începuturi datează de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, s-a dezvoltat în secolul XX. Devenită o ştiinţă majoră, ea are numeroase reviste de specialitate; una dintre cele mai recente este „Journal of Embryology and Experimental Morphology“, creată în 1953.

---

[15] Reproducerea asexuată, cu formarea de lanţuri de indivizi la turbelariate, este de mult cunoscută pentru catenulide şi microstomide. Lucrări recente au pus în evidenţă înmulţirea prin diviziune transversală şi la acele (Marcus şi Macnae, 1954; Ax şi Schultz, 1959). — *M.-F.V.* şi *S.M.*

[16] Clasică este poliembrionia la *Gyrodactylus* (monogene). — *M.-F.V.* şi *S.M.*

[17] Regenerarea se cunoaşte şi la protozoare, unde rolul decisiv în acest proces îl are nucleul: fragmentele anucleate se vacuolizează şi se dezintegrează. — *M.-F.V.* şi *S.M.*

Ouăle unor nevertebrate reprezintă un material de predilecție pentru studiile de embriologie descriptivă și cauzală. Structura fină a oului de arici-de-mare a fost studiată de Runnström (1923—28), Monné (1944—45), Monroy (1947—49). Încă din 1901, T. Boveri a observat dezvoltarea oului la ariciul-de-mare numit *Paracentrotus lividus*; școala suedeză, împreună cu S. Hörstadius, s-a specializat în aceste studii (1928—53).

După 1942, olandezul C. Raven și colaboratorii au observat în timpul fecundării modificările citoplasmice din oul de la melcul *Limnaea*, care prezintă o segmentare spirală (filumul *Spiralia*). Child (1900) a studiat dezvoltarea arenicolei (nisipar), iar Conklin, pe cea a ascidiilor etc. Studiul ontogeniei la amfioxus a fost efectuat de Mac Bride (1900—1909), Cerfontaine (1906), Conklin (1932).

Au fost efectuate cercetări citochimice și fotometrice asupra acizilor nucleici și a conținutului de ADN în cursul dezvoltării ouălor de arici-de-mare, de *Ascaris* etc.; Monroy a realizat analize biochimice asupra primelor faze ale morfogenezei aricilor-de-mare (1962). Tratatele de embriologie comparată ale lui E. Korschelt și K. Heider (Jena, 1936) și C. Dawydoff (Paris, 1928) sînt clasice.

Cercetările experimentale asupra dezvoltării ouălor în mozaic se referă la diverse nevertebrate.

Experiențele efectuate asupra ascidiilor de către Chabry (1887), confirmate de Conklin (1905), arată că destinul fiecărui blastomer este stabilit încă de la începutul segmentării. E. A. Wilson (1904) bazează noțiunea de localizări germinale pe analiza oului de *Dentalium*. Penners (1924—37) arată la *Tubifex* caracterul în mozaic al dezvoltării, pe de o parte, și al capacităților de reglare, pe de alta.

Autoreglarea dezvoltării oului a constituit, de asemenea, obiectul unor experiențe precise. H. Driesch (1891) a prezentat o demonstrație experimentală a reglării la oul de arici-de-mare, acesta fiind procesul pe baza căruia un sistem germinal perturbat reacționează pentru a tinde să realizeze ansamblul de manifestări morfogenetice normale caracteristice speciei considerate.

Teissier (1931—34) arată că oul și embrionul hidrariilor posedă o mare putere de reglare care se prelungește pînă în stadiul de blastulă și planulă. Analiza experimentală a reglării la oul de arici-de-mare reprezintă opera esențială a școlii suedeze prin Runnström (1928—29), Lindahl (1936—53), Hörstadius (1928—53). E. L. și L. H. Colvin (1950) studiază același proces la un *Balanoglosus* iar Wilson (1893) și Conklin (1933), la un *Amphioxus*.

Cele două noțiuni, de mozaic și de reglare, sînt complementare.

A. Dalcq (1932—38) constată că la o ascidie oul operat la un stadiu foarte timpuriu este capabil de reglare. Oul în mozaic de la grupul spiralia este la fel, după cum dovedesc experiențele asupra ouălor de *Tubifex* (Penners, 1926), de lipitoare, de polichete, de nemerțieni (Yatsu, 1910; Hörstadius, 1937), de nematode (Boveri, 1899—1910; Hogue).

Du Bois (1936—38) a arătat că oul de *Sialis* (nevropteroid) prezintă două faze succesive: prima, în care embrionul nu este determinat, şi a doua, în care el devine determinat. În ontogeneză, noţiunea de timp este importantă; un embrion tînăr aparţine tipului cu reglare; cînd este matur, el va fi de tipul în mozaic. Diferenţa dintre ouăle cu mozaic şi cele cu reglare nu este deci esenţială.

Boveri a demonstrat că oul de *Ascaris* prezintă o structură gradată care se întinde de la un pol la celălalt. Această organizare spaţială a luat o importanţă deosebită după cercetările lui Hörstadius, care a izolat în oul de arici-de-mare teritorii animale şi vegetative. Factorii de organizare caracteristici jumătăţii animale sînt repartizaţi cu un gradient de intensitate în jurul unui centru care corespunde polului animal.

Teoria gradienţilor fiziologici, emisă de C.M. Child (1915), se bazează pe analizele regenerării la nevertebratele inferioare. Prin generalizare, ea a fost aplicată şi la embriogeneză.

Gradienţii indică activitatea morfogenetică dintr-un teritoriu dat. Regiunea polului animal de la oul de arici-de-mare conţine centrul activităţilor morfogene şi fiziologice maxime; mergînd de la acest centru spre domeniul vegetativ, activităţile scad pînă în momentul în care activităţile celor două regiuni se echilibrează.

În cursul ontogenezei, diversele regiuni ale germenului îşi dobîndesc determinarea; progresiv, se realizează starea de mozaic; fiecare teritoriu este determinat şi nu mai este capabil decît de o autodiferenţiere.

Procesele de inducţie, studiate mai ales la amfibieni, au fost, de asemenea, puse în evidenţă la ascidii, la echinoderme şi la insecte (acestea din urmă au un centru diferenţiator sau un complex care reprezintă un centru formator-centru diferenţiator).

H. ECOLOGIA

Noţiunea de ecologie a dat naştere la numeroase discuţii, după crearea termenului de către Haeckel în 1866; Gisin (1949) i-a scos în evidenţă toate dificultăţile. Se admite că ecologia se ocupă cu studiul raporturilor dintre animale şi mediile lor. Chapman (1931) făcea deosebirea între o autecologie, sau ecologia individului, şi o sinecologie sau ecologia asociaţiilor de organisme. Comportamentul animalelor în mediile lor ţine de domeniul etologiei, în timp ce studiul în laborator al reacţiilor la diversele condiţii ale mediului depinde mai degrabă de fiziologie.

Pînă prin 1921, ecologia, mai ales cea analitică, acumulează lucrări realizate la întîmplare şi fără un obiectiv precis; sînt înregistrate reacţiile fiziologice ale animalelor la diverşi factori ai mediului; sînt determinate limitele de acţiune ale acestor factori în condiţiile vieţii (Adams, 1913; Shelford, Seton, Reighard, Andrews etc.).

Se vorbeşte, de asemenea, uneori de o biogeografie ecologică sau de ecologia distribuţiei geografice, preocupare care va domina perioada 1921—1930. Cartea cea mai importantă din această perioadă este *Tiergeographie auf oekologischer*

Grundlage (1924) a lui R. Hesse, în care zoogeografia este considerată sub un aspect nou, în sensul că metodele ecologice sînt aplicate la studiul repartiției faunelor. Trebuie citate și lucrările lui Willis (1922) și Buchner (1930).

Alte două lucrări, intitulate *Animal Ecology*, sînt deosebit de interesante. Cea a lui Pearse (1926) este analitică. Cealaltă, a lui Elton (1927), reprezintă prima încercare de unificare a ecologiei. El consideră că obiectul acestei științe îl constituie analiza calitativă și cantitativă a populațiilor adică studiul populațiilor diverselor biotopuri, al echilibrelor și al variației lor în condițiile naturale.

Ulterior, ecologia s-a organizat; treptat, se vor stabili și coordona principiile sale. Apar reviste de specialitate („Journal of Ecology", 1913; „Ecology", 1920; „Ecological Monographs", 1931; „Journal of Animal Ecology", 1932). La Oxford, Elton conduce un *Bureau of Animal Population* (1932). Clements și Shelford elaborează lucrarea *Bio-Ecology* (1939), ținînd seama de coexistența florei și faunei.

METODE. În cazuri rare este posibilă realizarea unei experiențe naturale.

Erupția vulcanului Krakatao (1883) a distrus orice viață vegetală și animală; treptat, speciile s-au reinstalat; Dannemann a descris fizionomia și condițiile de repopulare în decursul a 50 de ani (1948). Popularea unor regiuni goale create de om (lacuri artificiale, canalul de la Caen la mare) reprezintă o altă experiență bogată în informații.

Ecologia necesită o instrumentație specială, capabilă să măsoare caracterele mediului sau, mai precis, a micromediilor, și în special microclima (Geiger, 1950): umiditatea, precipitațiile, vîntul, compoziția apei sau aerului, evaporarea etc. Luarea de probe din sol (Franz, 1950), din stratul erbaceu etc. necesită metode și aparate deosebite după condițiile mediului: selectorul lui Adam, capcane de tipuri diferite, momeli. Sînt folosite în mare măsură și metodele de marcare.

Marcarea insectelor permite determinarea gradului de mortalitate sau de migrare. C. J. J. Petersen a conceput o metodă de marcare a peștilor în scopul urmăririi migrațiilor lor. Inelarea păsărilor a fost pusă la punct de danezul Mortensen (1899). Foarte curînd, Germania, care a creat un centru la Rossiten încă din 1901, a ajuns în fruntea acestor acțiuni. Inelarea se practică astăzi în toată Europa. În Anglia vreo 20 de stațiuni sînt în legătură cu *British Museum*. În Franța a fost creat la Muzeul Național de Istorie Naturală (1930) un serviciu central de cercetări asupra migrațiilor mamiferelor și păsărilor. În Statele Unite inelarea a început prin 1920, iar în U.R.S.S., prin 1924.

După 1932, metoda inelării balenelor a înlesnit obținerea unor rezultate satisfăcătoare. Între 1934 și 1938 au fost marcate în Antarctica peste 5000 de cetacee; 317 cetacee astfel marcate au fost regăsite în 1953. Informațiile obținute sînt centralizate în Anglia, la National Institute of Oceanography.

BIOMETRIE. Evaluarea statistică a populațiilor și a variațiilor lor apelează la o nouă știință, *biometria*, a cărei dezvoltare a fost considerabilă în cursul ultimelor decenii.

În secolul al XIX-lea, precursorul biometriei a fost A. Quetelet, care a inaugurat metoda poligoanelor de frecvenţă; apoi, F. Galton şi elevul său, K. Pearson, au stabilit noţiunea de corelaţie şi au studiat expresia matematică a variaţiei fluctuante a lui Darwin. Johannsen a analizat variaţia individuală la fasole. Biologul şi matematicianul R.A. Fisher a contribuit la progresul analizei biometrice a diverselor aspecte ale fenomenelor vitale. Lucrările unor matematicieni au devenit clasice: R. Pearl (*The rate of living*, 1928; *The biology of population growth*, 1925; *The biology of death*, 1922), Lokta (*Elements of physical biology*, 1925). Cu ajutorul unor populaţii experimentale de drosofile, Verlust şi Pearl au stabilit o curbă de creştere logistică. Volterra a încercat o analiză matematică a factorilor de mortalitate care a fost apoi dezvoltată de Nicholson şi Bailey.

Biometria a influenţat puternic ecologia şi acest lucru nu poate fi ignorat. Ar fi necesar ca specialiştii să facă încă un efort în privinţa prezentării rezultatelor pentru ca metodele lor să poată fi mai uşor înţelese şi folosite.

Analiza matematică este relativ uşoară în studiul populaţiilor realizate în laborator; cercetările şcolii americane asupra insectelor de pe cereale (Leslie şi Park, 1949; Watts, 1955; Utida, 1956). Dacă unele rezultate astfel obţinute sînt valabile, aplicarea matematicii la ecologia de teren a atras numeroase critici (Bodenheimer, 1952; Ullyett, 1953). Studiul populaţiilor de insecte în anumite medii naturale, ca păduri sălbatice, mărăcinişuri, savane, este aproape imposibil; este deci preferabilă luarea în considerare a unor medii naturale mult mai restrînse şi mai puţin complexe.

A fost studiată, de exemplu, ecologia solului (Franz, 1950; Tischler, 1955), cea a arborilor (Lepointe, 1957), cea a cîmpului cultivat după însămînţare (semănături), după recoltă sau după seceriş (Tischler, Chauvin), fără a omite popularea lizierelor, diferenţele faunistice dintre baza şi vîrful tulpinilor, planctonul aerian, fauna nocturnă, evoluţia faunistică anuală cu specii de primăvară, de vară, de toamnă şi cu specii perene.

Studiile ecologice ale faunelor marine, planctonice, limnologice, interstiţiale şi cavernicole au constituit, de asemenea, obiectul unor importante cercetări.

AVÎNTUL OCEANOGRAFIEI BIOLOGICE. Înfloritor în secolul al XIX-lea, studiul faunei marine s-a intensificat în secolul al XX-lea, dobîndind un aspect nou. Expediţiile efectuate de nave singuratice sînt înlocuite treptat cu mari explorări internaţionale, în timp ce progresele tehnice determină transformări profunde şi favorizează obţinerea unor realizări pînă acum nebănuite.

Laboratoarele maritime, create pentru prima dată în secolul al XIX-lea, se multiplică în toată lumea; între 1920 şi 1930 sînt echipate peste 70 de noi laboratoare. Cele mai active dintre ele editează cîte o revistă care publică rezultatele obţinute.

Navele oceanografice şi-au continuat croazierele. Între cele două războaie mondiale, „Meteor" (Germania), „Mercator" (Belgia), „Discovery" I şi II (Anglia) au explorat Atlanticul; „Willebrod Snellius" (Olanda) a parcurs insulele indoneziene, iar „Dana I" (Danemarca) a efectuat o călătorie în jurul lumii. Amintim că nava franceză „Pourquoi pas"? (comandată de Charcot) s-a scufundat în 1936 cu aproape întreg echipajul său.

După 1945, diversele puteri navale şi-au creat o flotă oceanografică mai mult sau mai puţin bogată: „Armauer", „Hansen" şi „Brattegg" în Norvegia, „Albatross" şi „Nye Skagerak" în Suedia, „Thor", „Dana I" şi „Dana II" în Danemarca; dar cele mai bogat înzestrate cu nave oceanografice sînt Statele Unite, U.R.S.S., Anglia şi Japonia[18].

Posedînd un mare număr de laboratoare marine şi de nave de cercetări, Statele Unite au întreprins după 1960 un nou şi important efort de echipare care să le permită să-şi menţină superioritatea. Aceasta este însă compromisă actualmente de dezvoltarea rapidă a flotei oceanografice a U.R.S.S., dotată cu vreo 10 nave moderne şi foarte bine echipate: „Viteaz", „Lomonosov", „Ekvator", „Obi" etc., dintre care unele depăşesc 6 000 t. Aceste nave au întreprins o vastă campanie de explorări, mai ales în timpul Anului Geofizic Internaţional (1957—58), iar rezultatele obţinute de „Viteaz" în Pacific după 1949 sînt foarte importante. Fiind primul producător mondial de produse marine, Japonia este interesată în aceeaşi măsură în aplicaţiile practice şi în dezvoltarea industriilor legate de pescuit, cît şi în cercetarea fundamentală, participînd activ la explorarea Oceanului Pacific şi a mărilor limitrofe. Înzestrată cu o flotă oceanografică de 13 unităţi, Marea Britanie continuă activitatea de explorare biologică pe care a inaugurat-o atît de strălucit în secolul precedent. Dintre cele cinci nave franceze echipate pentru cercetarea oceanografică, cea mai vestită este „Calypso" care, fiind înzestrată cu dispozitive tehnice originale, execută din 1951 croaziere în Marea Mediterană şi în Marea Roşie sub conducerea comandantului Cousteau. Institutul ştiinţific şi tehnic de pescuit are, de asemenea, o navă specială pentru studiul peştilor migratori.

Pînă prin 1940, explorările au atins adîncimea maximă de 6 000 m; în 1910, prinţul de Monaco, pe iahtul „Princesse Alice", a reuşit să coboare un năvod pînă la 6 035 m. În 1947, „Albatross" (Suedia) a realizat recoltări la 7 900 m adîncime în cursul unei expediţii de 15 luni în oceanele Atlantic, Pacific şi Indian; în 1950—52, „Galathea" (Danemarca) a reuşit recoltări între 9 800 şi 10 200 m în fosa Filipinelor; în sfîrşit, fosele din Pacific (de exemplu, fosa Marianelor) au fost explorate după 1953 de „Viteaz" (U.R.S.S.), atingîndu-se cea mai mare adîncime, şi anume 11 034 m.

Navele oceanografice moderne sînt înzestrate cu aparate mai bine adaptate la scopul cercetărilor lor. Troliuri puternice, prevăzute cu cabluri lungi de material plastic, cu o densitate egală cu cea a apei, sînt mult mai uşor de manevrat. Sondele cu ultrasunete sau ecosondele înregistrează automat adîncimea la verticala navei, precum şi natura fundului. Carotiera permite determinarea succesiunii sedimentelor marine; primul dintre aceste aparate, destul de primitiv, a fost construit în Statele Unite în 1935. Carotiera lui Kullenberg, folosită în prezent, este lansată în cădere liberă de la o anumită adîncime şi pătrunde în sediment în timp ce un piston o goleşte. Ea permite extragerea unor coloane (carote) de 20 m. Aparatele de extracţie şi de măsurare sînt şi ele considerabil perfecţionate. Tehnica fotografierii este reînnoită datorită punerii la punct, de către comandantul Cousteau, a unei camere fotografice speciale, sincronizată cu un flash electronic, pentru efectuarea de fotografii submarine.

---

[18] La asemenea explorări oceanografice au participat zoologi români de renume mondial: acad. Eugen Pora, la expediţia sovietică din Oceanul Indian, cu vasul „Viteaz" (1962), prof. dr. docent Mihai Băcescu, membru corespondent al Academiei R.S.R., cu nava „Anton Brun" (S.U.A.), de-a lungul coastei peruviene (1965), şi cu nava franceză „Thalassa", în apele Mauritaniei (1971); dr. Marian T. Gomoiu, în expediţia americană din Marea Sargaselor, cu nava „Estward". — *M.-F.V.* şi *S.M.*

EXPLORĂRI SUBMARINE. În secolul al XX-lea, explorarea adîncimilor submarine marchează o adevărată revoluţie, deşi încercări de scufundări submarine fuseseră făcute încă din secolul al XVII-lea.

Diversele instalaţii de scufundare se reduc la două tipuri esenţiale, după cum lasă presiunea exterioară să se exercite asupra corpului scufundătorului, sau după cum acesta rămîne supus presiunii atmosferice, fiind închis într-o cabină etanşă. Primului tip îi aparţine scafandrul autonom.

După numeroase încercări, francezii Rouquayrol şi Denayrouze au perfecţionat scafandrul autonom al lui Cabirol (1839) prin utilizarea unui detentor care asigură distribuţia aerului comprimat în funcţie de presiunea de imersiune a scufundătorului. Adevăratul scafandru autonom a fost însă pus la punct de Le Prieur (1926) şi perfecţionat în 1943 de Y. Cousteau şi E. Gagnan; detentorul este automat, iar butelia de aer comprimat se găseşte pe spatele scufundătorului. Aparatele respiratoare funcţionează acum în circuit închis. Echipamentul este completat de mască, labe şi o îmbrăcăminte etanşă.

Datorită scafandrului autonom, explorarea fundurilor litorale a fost inaugurată de zoologul francez P. Drach prin 1946. Cercetările s-au dezvoltat mai ales în Mediterana şi în mările tropicale. Pe această cale sînt posibile explorările peşterilor submarine, studiul faunei recifelor coraliere şi în general studiul bentosului litoral pînă la adîncimi de 60 m.

Explorarea marilor adîncimi nu poate fi însă încercată decît cu dispozitive de tipul II, din cauza pericolului pe care îl reprezintă marile presiuni. Trebuie citate trei nume: americanii William Beebe şi Otis Barton şi elveţianul Auguste Piccard care a realizat batiscaful.

În 1930, Beebe a executat prima scufundare la 240 m adîncime cu o batisferă; în 1948, el a atins 1360 m. În timp ce batisfera are inconvenientul de a fi suspendată de un cablu, batiscaful este un adevărat balon submarin, a cărui nacelă este o sferă de oţel capabilă să suporte o presiune enormă. Elementul susţinător este un combustibil special. Din cauza dificultăţilor tehnice, prima experienţă realizată de Piccard în 1946 cu F.N.R.S. II nu a constituit decît un semisucces. Inginerii de geniu maritim francezi au pus la punct F.N.R.S. III, un mic submarin pentru adîncimi mari şi primul batiscaf utilizabil. Comandantul Houot şi inginerul Willm au realizat la 16 februarie 1954 o scufundare la adîncimea de 4 050 m în largul Dakar-ului. Ea a fost urmată de peste 100 de scufundări în Mediterana, Atlantic, Pacific, la care au participat diferiţi naturalişti. Batiscaful „Trieste“, conceput de A. Piccard, este folosit de marina americană; la 22 ianuarie 1960, el a atins o adîncime de peste 11 000 m în fosa insulelor Mariane. Un nou batiscaf francez, „Archimede“, construit pentru a atinge adîncimi asemănătoare, a executat de pe acum o serie de misiuni de cercetare la 9 500 m (1962). Şi alte proiecte sînt în studiu şi mai ales cel al unui mezoscaf de aluminiu, capabil să atingă adîncimi de 4 000 m, şi cel al unui batiscaf nuclear.

Lucrarea lui J. Murray şi J. Hjort, *The Depths of the Ocean* (1912), a inaugurat oceanografia modernă. De atunci, condiţiile fizico-chimice ale oceanelor au fost studiate în cursul diverselor expediţii; au fost întocmite hărţi batimetrice;

s-a stabilit topografia fundurilor mărilor şi oceanelor; s-a determinat temperatura şi salinitatea apelor. Rezultatele biologice sînt şi mai bogate.

Încă din 1911, C.J.J. Petersen a publicat, împreună cu P.B. Jensen, o importantă monografie asupra faunei fundului oceanic. Cercetările ulterioare se referă la plancton (aspect, densitate, compoziţie), la popularea etajelor batiale (abisale şi hadale), la repartiţia faunelor pelagice în funcţie de adîncime, la bogăţia faunelor pelagice şi bentice, la descrierea unor specii şi familii noi şi la comportarea animalelor.

Studiul faunei abisale, de dată foarte recentă, a constituit obiectul a numeroase comunicări la primul Congres Internaţional de Oceanografie (New York, 1959). Vechea idee a unor adîncimi marine azoice este definitiv perimată; toate adîncimile pînă la 11 000 m adăpostesc o faună mai mult sau mai puţin bogată, mai mult sau mai puţin specială.

Cu ajutorul scafandrului autonom, explorarea marină este posibilă pînă la adîncimi de 60 m. Deoarece batiscaful nu poate fi folosit decît la adîncimi mai mari de 1 000 m, zona intermediară risca să nu poată fi explorată. „Farfuria scufundătoare" propulsată prin reacţie, concepută de Y. Cousteau, marele realizator al oceanografiei moderne, acoperă parţial această lacună, permiţînd observaţii pînă la adîncimi de 400 m.

Scafandrul autonom, farfuria scufundătoare, batiscaful au revoluţionat astfel oceanografia modernă. Este probabil însă că viitorul va fi martorul unor realizări şi mai îndrăzneţe.

PLANCTONUL. Numit astfel de germanul Hensen (1887), planctonul cuprinde toate organismele vii care nu pot rezista unui curent marin şi care sînt incapabile să efectueze mişcări orientate de lungă durată. Numeroase recoltări au permis studiul calitativ al animalelor, vegetalelor şi bacteriilor care îl compun. Cercetările au fost orientate însă şi spre un studiu cantitativ care să pună în lumină legăturile planctonului cu mediul.

G. Pruvot (1921) a subliniat sărăcia în plancton a anumitor ape mediteraneene. Jasperson (1923) a confirmat această observaţie şi a stabilit o relaţie între bogăţia în plancton a apelor marine şi conţinutul lor în nitraţi şi în fosfaţi, relaţie care a fost confirmată şi de J. Schmidt (1928—30). Odată cu ameliorarea tehnicilor, au fost întreprinse extrageri metodice însoţite de măsurători fizico-chimice, în special ale biologilor englezi, germani şi scandinavi. Aceste analize au pus în evidenţă noţiunea de productivitate. Studiind fitoplanctonul, oceanograful danez E. Steeman-Nielsen a arătat că randamentul fotosintezei este mult mai mic în apele mării decît pe uscat.

LIMNOLOGIA. Născută la sfîrşitul secolului al XIX-lea, limnologia a fost definită în 1922, la Congresul Internaţional de la Kiel, drept ştiinţa apelor dulci. Ea studiază factorii fizico-chimici ai lacurilor, iazurilor, apelor curgătoare, popularea apelor dulci, biocenozele în raport cu condiţiile mediului; producţia piscicolă sau piscicultura reprezintă o aplicaţie directă a acestei ştiinţe.

Lucrările limnologice fundamentale sînt cele ale lui R. Demoll şi M. Maier (Stuttgart, 1925—42). A. Thienemann (Stuttgart, 1925—42), P.S. Welch (New York, 1935), Ruttner (Berlin, 1940) etc.

L. Léger şi L. Kreitmann au fost pionierii hidrobiologiei franceze. Léger studiază din 1910 popularea cursurilor de apă cu salmonide şi defineşte noţiunea de *capacitate biogenică* ce exprimă valoarea nutritivă a cursurilor de apă pentru peşti. El preconizează o metodă pentru a întocmi hărţi şi grafice piscicole, care a fost adoptată oficial în 1925. În 1945, expune bazele economiei biologice şi ale productivităţii rîurilor cu ciprinide (crapi). Opera sa este esenţială în domeniul punerii în valoare a apelor curgătoare.

L.W. Collet (1925) precizează diversele origini ale lacurilor; factorii termici exercită o influenţă profundă asupra populării lor (G. Mauvais, 1929); curenţii provocaţi de vînt sau de temperatură au fost studiaţi de Kreitmann şi de Mercanton, iar compoziţia chimică a apelor lacustre şi variaţiile lor, de numeroşi alţi autori. E. Naumann şi A. Thienemann au stabilit o clasificare biologică a lacurilor bazată pe comparaţia caracterelor lor fizice, chimice şi biologice.

Amenajarea piscicolă raţională a lacurilor a fost preconizată de diverşi autori, unele încercări fiind efectuate în lacul Leman (L. Kreitmann) şi în unele heleşteie producătoare de crapi. Numeroase lucrări au analizat compoziţia diverselor bazine de apă dulce.

Paralel cu laboratoarele maritime, diferite ţări şi-au creat laboratoare de hidrobiologie. În Franţa, de exemplu, pe lîngă laboratorul fundat de Léger la Grenoble, au mai fost create noi centre de cercetare: staţiunea de la lacul Bourget (1933), centrele de la Thonon, Paraclet (1939), Centrul de cercetări hidrobiologice al C.N.R.S. (Gif-sur-Yvette).

FAUNA INTERSTIŢIALĂ. Francezul Giard şi americanul Cobb au fost pionieri în studiul acestei faune deosebite care se observă atît în apele continentale, cît şi în cele marine.

Mai mulţi limnologi s-au specializat în studiul faunei interstiţiale a apelor continentale: sovieticul Sasukin (1927), polonezul Wiesniewsky, americanul Pennak, franco-elveţianul P.A. Chappuis, austriacul Ruttner-Kolisko, francezul E. Angelier, românul C. Motaş. Au fost descoperite numeroase specii noi în acest biotop care abia a început să fie explorat.

După 1934, germanii Remane şi Schulz au studiat fauna apelor subterane litorale şi microfauna bentică a nisipurilor. În 1951, Remane a publicat o sinteză referitoare la golful Kiel şi la coasta frisiană germană. În Franţa sînt întreprinse cercetări analoage, începînd din 1950, la Banyuls şi la Roscoff, sub conducerea lui G. Petit şi G. Teissier. Fauré-Fremiet a studiat mai ales microfauna nisipurilor. Pornind de la centrele din Kiel, Banyuls şi Roscoff, acest gen de studii s-a răspîndit în diferite ţări şi în special în Suedia.

FAUNA CAVERNICOLĂ. Prezenţa animalelor în peşteri este cunoscută de foarte mult timp.

Încă din secolul al XVII-lea se ştia că un vertebrat acvatic trăia în peşterile din Carniolia; el a fost descris de Laurenti (1781) sub denumirea de *Proteus anguinus*. În aceste peşteri celebre a mai fost descoperit şi primul cavernicol terestru, pe care F. Schmidt l-a identificat (1832). Acest coleopter, *Leptodirus hohenwarti*, se caracterizează prin transparenţa cuticulei, prin lungimea şi fineţea apendicelor, fizogastria sa şi prin faptul că este orb. Această descoperire a stîrnit o vie curiozitate şi a antrenat o dezvoltare a cercetărilor biospeologice în numeroase ţări.

Explorarea sistematică a peşterilor a început prin 1870 în Balcani şi cu această ocazie au fost descrise primele insecte cavernicole din munţii Dinarici. Apoi entomologii italieni şi francezi au explorat peşterile din Liguria, Toscana şi Pirinei. O. Hamann a sistematizat cunoştinţele dobîndite (*Europaische Höhlenfauna*, 1896).

La începutul secolului al XX-lea, un mare impuls a fost dat acestor cercetări de către românul E.G. Racoviţă şi francezul R. Jeannel[19].

Primele explorări ale lui Jeannel au fost efectuate în Pirinei, iar ale lui Racoviţă în Majorca. Colaborînd timp de peste 30 de ani, aceşti doi specialişti au organizat vreo 50 de campanii, vizitînd şi descriind peste 1 200 de peşteri din Europa, Africa şi America. Studiul recoltelor a fost încredinţat diferiţilor specialişti; treptat, au fost puse în evidenţă bogăţia şi caracterele deosebite ale acestei faune cavernicole[20].

În 1926, H. Spandl a stabilit lista speciilor acvatice subterane iar Jeannel a publicat *Faune cavernicole de la France*. R. Leruth (1939) a elaborat un inventar analog pentru Belgia, în timp ce B. Wolf a publicat lucrarea *Animalium cavernarum catalogus* (1934—37). În 1930 s-a înfiinţat o revistă de specialitate, „Mitt. über Höhlen. und Karstforschung". Fauna grotelor artificiale şi mai ales a galeriilor de mină a fost, de asemenea, studiată.

LABORATOARELE SUBTERANE. Necesitatea organizării unor laboratoare specializate s-a impus rapid în scopul creşterii animalelor cavernicole şi pentru dezvoltarea cercetărilor experimentale sugerate de această faună deosebită.

Primul laborator subteran, creat de Viré în 1897 sub Grădina Plantelor din Paris, a fost distrus în timpul inundaţiilor din 1910. În 1930, G.A. Perco a organizat o adevărată staţiune biospeologică într-o galerie a peşterii de la Adelsberg (Postumia). În Franţa, un laborator subteran, condus de A. Vandel, a fost creat de C.N.R.S. în 1954, în peştera de la Moulis (Ariège), în centrul unei regiuni deosebit de bogate în peşteri. Alte laboratoare subterane sînt în curs de creare în Carpaţi (România)[21], şi în America.

Cercetările biospeologice interesează îndeosebi dezvoltarea animalelor cavernicole, fiziologia lor, compoziţia argilelor din peşteri şi valoarea lor biologică.

Deleurance a constatat că dezvoltarea coleopterelor cavernicole se efectuează în ou şi că faza larvară este aproape suprimată. Cavernicolele par a avea un metabolism specific bătrîneţii. Pentru prima dată (1958), proteul decolorat şi orb s-a putut reproduce la Moulis.

---

[19] Pe baza primelor observaţii făcute asupra vieţuitoarelor din peşteri, E.G. Racoviţă a elaborat o lucrare fundamentală pentru studiul sistematic al faunei cavernicole, *Essai sur les problèmes biospéologiques* (1907), adevărat act de naştere al unei noi discipline, biospeologia. — *Nota red. rom.*

[20] Pentru a se efectua un studiu sistematic al peşterilor şi al faunei lor, Racoviţă a pus, împreună cu Jeannel, bazele unei cooperări internaţionale ale cărei roade au fost oficializate într-o serie de publicaţii sub numele de „Biospeologica", şi care au apărut în intervalul 1907—1950. Totodată, Racoviţă a înfiinţat în 1921 „Institutul de speologie", cu sediul la Cluj, care a fost primul institut de cercetări speologice din lume. Publicaţia institutului, „Travaux de l'Institut de Spéologie de Cluj", care a apărut într-o primă serie în 7 volume în anii 1926—1936, a constituit pentru perioada aceea cea mai serioasă revistă de speologie din lume. Ea apare în continuare astăzi într-o nouă serie. — *Nota red. rom.*

[21] Laboratorul subteran „Peştera Cloşani", din Carpaţii Meridionali. — *M.-F. V.* şi *S.M.*

Larvele sînt negre şi au ochi. În cursul dezvoltării, ele se depigmentează şi ochiul degenerează. Această dublă degenerare provine dintr-un mecanism endocrin: nefiind stimulată de lumină, hipofiza îşi încetineşte activitatea datorită temperaturii scăzute a mediului. Importanţa rolului argilelor, medii vii, bogate în microorganisme, a fost scos în evidenţă de V. Caumartin (1957).

PROTECŢIA NATURII. În 1872, printr-un act al Congresului Statelor Unite ale Americii s-a creat Parcul naţional Yellowstone. În 1898, Republica Transvaal organiza *Sabi Game Reserve* pentru ocrotirea faunei sălbatice, care avea să devină Parcul naţional Kruger (1926). Aceste realizări sînt primele manifestări ale noţiunii de protecţia naturii, care avea să progreseze şi să se dezvolte în secolul al XX-lea.

Acţiunea de protecţie, socotită mult timp sentimentală şi iluzorie, a început să fie luată în considerare în mod obiectiv. Importanţa sa pentru viitorul civilizaţiei s-a dovedit; scăderea şi apoi dispariţia masivă a numeroase specii animale şi vegetale au alarmat spiritele. Au apărut preocupări privind mijloacele capabile să conserve bogăţiile faunistice şi floristice; au fost elaborate programe şi regulamente.

În anul 1900, puterile care aveau interese în Africa au semnat la Londra un acord care asigura protecţia vînatului. Primul Congres Internaţional pentru Protecţia Peisajului a avut loc în 1909. O Comisie consultativă pentru Protecţia Internaţională a Naturii şi-a stabilit sediul la Berna în 1913. Primul Congres Internaţional pentru Protecţia Naturii a avut loc la Paris (1923). În 1925 a fost inaugurat Parcul naţional „Albert" din Congo (Republica Zair). În 1933, Convenţia de la Londra punea bazele apărării şi ocrotirii faunei şi florei africane; ea definea noţiunile de „Parc Naţional" şi „Rezervaţie naturală integrală". Un decret din 1934 a creat Institutul Parcurilor Naţionale din Congo (Republica Zair), cu caracter internaţional.

În 1948, o conferinţă internaţională a decis crearea Uniunii Internaţionale pentru Protecţia Naturii, care a fost inaugurată oficial în 1954, sub preşedinţia lui R. Heim. De atunci, protecţia naturii a devenit o realitate care răspunde unor obiective precise. Sînt stabilite programe ale căror rezultate sînt discutate în cursul congreselor sau al conferinţelor.

Toate aceste acţiuni mărturisesc extinderea ideii de protecţie a naturii. Uniunea internaţională a dovedit o activitate lăudabilă; s-au luat diferite iniţiative; s-au creat numeroase „sanctuare ale naturii" în America, în Africa şi chiar în Europa. Rezultatele sînt evidente; datorită unor măsuri severe, capra-neagră, marmotele, muflonii se înmulţesc. În Franţa, rezervaţia din Camargue şi rezervaţiile ornitologice de la Sept-Iles, de la capul Fréhel etc. au permis repopularea cu diverse specii. În diferite ţări sînt în curs de realizare noi proiecte de creare a unor Parcuri naţionale sau a unor rezervaţii[22].

---

[22] În România, Comisia pentru ocrotirea monumentelor naturii funcţionează de patru decenii (1935). Suprafaţa totală a rezervaţiilor naturale din ţara noastră (circa 200) depăşeşte 92 000 ha. Dintre acestea, Parcul Naţional Retezat din Carpaţii Meridionali, înfiinţat în 1936, şi alte 8 rezervaţii echivalente parcurilor — Delta Dunării, Cheile Turzii, Munţii Bucegi, Muntele Domogled (Herculane), Masivul Pietrosul Rodnei, Codrul secular Slătioara, Plaiul Todirescu (Bucovina), Complexul Scărişoara-Belioara — figurează în nomenclatorul O.N.U. — *M.-F.V.* şi *S.M.*

ZOOGEOGRAFIA. În 1913, Gadow a prezentat un bilanţ al istoriei zoogeografiei şi al caracterelor sale esenţiale. Pentru a explica distribuţiile animale, zoogeografii nu ezită să accepte ipoteze îndrăzneţe. Astfel, mulţi au început să justifice teoria translaţiei continentelor a lui Wegener (1911), care părea compatibilă cu distribuţia deosebită a anumitor specii. În schimb, alţii preferă să recurgă la ipotetice punţi intercontinentale.

În 1915, importanta lucrare *Climate and Evolution*, a lui W.D. de Matthew, marchează începuturile zoogeografiei moderne.

Considerînd că evoluţia a fost dominată de climă, Matthew a descris într-o perspectivă istorică distribuţia animalelor terestre de-a lungul istoriei geologice; el a demonstrat inutilitatea ipoteticelor continente transpacifice sau transatlantice, deoarece pentru a explica repartiţia mamiferelor sînt suficiente legăturile mezozoice şi terţiare dintre Asia şi America de Nord şi prin istmul Panama. În opoziţie cu teoriile general admise, aceste idei au avut o mare influenţă şi au fost dezvoltate de cercetătorii de la *American Museum of Natural History*, sub conducerea lui W.K. Gregory.

În 1922, în lucrarea *Age and Areas*, J.C. Willis consideră că dimensiunile ariilor speciilor sînt în funcţie de vîrsta lor; speciilor tinere le corespund arii mici, în timp ce speciilor vechi le corespund arii mari. Această teorie a fost abandonată în favoarea unei determinări ecologice. În 1924, R. Hesse a analizat aspectele ecologice ale zoogeografiei. Răspîndirea animalelor este în funcţie, pe de o parte, de factorii climatici şi edafici, iar pe de alta, de competiţia şi cooperarea cu celelalte organisme.

Repartiţia geografică a animalelor terestre şi acvatice a constituit obiectul a numeroase publicaţii, printre care lucrările de ansamblu ale lui Ekman (1935), Newbigin (1936), Thienemann (1950), Beaufort (1951), P.J. Darlington (1957). În Franţa este în curs de redactare un *Atlas de biogéographie*, format din hărţi comentate, consacrate repartiţiei geografice animale şi vegetale.

Lucrările relativ recente — ale lui Arldt (1907, 1938), Jeannel (1935, 1940), Simpson (1940), Mayr şi colab. (1952) — dovedesc interesul permanent arătat de zoogeografi căilor de migraţie folosite de animale în cursul secolelor. Existenţa celebrului continent Gondwana este pusă la îndoială, în special de J. Millot (1952).

Printre zoogeografii contemporani se manifestă două tendinţe: unii consideră această ştiinţă drept o subdiviziune a ecologiei; alţii, interesaţi mai ales de aspectul ei istoric, studiază deplasările animalelor în cursul evoluţiei, neglijînd mai mult sau mai puţin distribuţiile actuale. Totuşi, dacă acestea din urmă se explică prin distribuţiile trecute, şi reciproca este la fel de valabilă. Se pare deci că biogeografia (geografia animală şi vegetală) trebuie să fie considerată drept un studiu evolutiv intim legat de ecologie şi de paleontologie.

I. ETOLOGIA

Etologia se ocupă cu studiul comportării animalelor. În ultimii 30 de ani, ea a devenit o ştiinţă cu metode proprii. O revoluţie a avut loc în psihofiziologie: sub influenţa „obiectiviştilor“, animalele sînt observate în mediul lor, şi nu în laborator.

Comportările înnăscute, care nu au nici o legătură cu acumulările individuale, cuprind reflexele, tropismele sau taxiile şi instinctele. Reflexele, care sînt răspunsuri parţiale la o stimulare, nu sînt adevărate comportări, dar participă la comportări complexe, la tropisme şi la instincte.

TROPISME. Noţiunea generală de tropism animal, stabilită de J. Loeb (1890), a fost ulterior îmbunătăţită şi precizată (Jennings, 1906; Bohn, 1921; K. Herter, 1924—40; Viaud, 1938—56 etc.).

Se deosebesc două grupuri de reacţii locomotoare orientate ca răspuns la stimuli fizici:

1) Reacţiile supuse legii maximului de excitare, sau *tropisme adevărate*, care sînt răspunsuri adaptative;

2) Reacţiile care încearcă să pună organismul în condiţii preliminare de excitare sau să-l sustragă acţiunii stimulului; acestea sînt *pseudotropisme* sau *patii*.

În prezent, termenii de *tropisme* sau *taxii* au fost înlocuiţi prin aceia de *comportări de maxim*, care includ tropisme adevărate şi patii (fototropism pozitiv şi negativ), şi *comportări de preferinţă*, care cuprind numai patiile (termotropismul, hidrotropismul). Tropismele şi patiile au unele caracteristici comune, şi anume ambele reprezintă reacţii la agenţii stimulatori nespecifici. După cum au arătat experienţele lui Titschach (1922—26), H. Precht (1952), aceste reacţii nu au motivare. În acelaşi timp, tropismele şi patiile diferă din punct de vedere psihofiziologic; tropismele adevărate nu reclamă integritatea sistemului nervos şi se manifestă în orice parte vie şi activă a organismului (Bankroft, 1904; Scheminsky, 1929—34; Viaud, 1949—53), în schimb, patiile necesită integritatea centrilor nervoşi la animalele cu sistemul nervos centralizat (Hess, 1924; Viaud şi Medioni, Scheminsky).

INSTINCTUL. Instinctele sînt comportări cu determinism intern predominant şi care prezintă reacţii perceptive la diverse situaţii sau obiecte.

Considerat adesea drept o formă de activitate misterioasă, instinctul a avut o proastă reputaţie, mai ales în Franţa; de aceea, el nu are nici un rînd în celebrul *Traité de psychologie* al lui G. Dumas. Totuşi, problema instinctului rămîne valabilă. Un recent colocviu internaţional (Paris, 1954) a stabilit o excelentă sinteză a cunoştinţelor din acest domeniu.

Discuţiile referitoare la raporturile dintre instincte şi tropisme se rezumă la reductibilitatea instinctelor la tropisme şi la reflexe.

Pentru unii cercetători, instinctele nu ar fi decît nişte lanţuri de tropisme şi de reflexe declanşate succesiv de stimuli externi (Bohn, Rabaud); cuvîntul instinct ar reuni o serie de fenomene diferite, grupate arbitrar. Această concepţie, care se bazează mai ales pe experienţe de laborator şi care izolează arbitrar anumite reacţii, a influenţat probabil şi ideile lui J.B. Watson.

Eliminînd din psihologia științifică spiritul și conștiința, Watson, părintele behaviorismului, le-a înlocuit prin comportament (1914), inaugurînd studiul obiectiv al faptelor și evidențiind toate dificultățile prezente, chiar într-un comportament simplu.

În acest fel, el a creat o stare de spirit favorabilă obiectivității.

Teoria obiectivistă s-a dezvoltat apoi sub influența lui K. Lorenz, care recunoaște drept precursori pe A.R. Wallace, Heinroth (*Die Vogel Mitteleuropas*, 4 vol., 1924—28), Th. Huxley. Tezele lui Lorenz (1930) au fost explicate și dezvoltate de N. Tinbergen, Koehler, Baerends și Thorpe.

Tînăr student, Lorenz a urmat cursurile lui Mac Dougall și a fost foarte uimit să constate că celebrul profesor nu observa niciodată un animal în afara laboratorului, în timp ce el însuși era pasionat de observațiile proprii asupra rațelor sălbatice. Lorenz, și apoi Tinbergen, împreună cu o pleiadă de entuziaști naturaliști de teren, observă comportarea animalelor și caută un principiu explicativ. Obiectele care condiționează activitatea animală sînt *releasers* (evocatori, declanșatori) sau stimuli-semne[23]: petele colorate ale ciocului pescărușului; smocurile de pene de pe gîtul măcăleandrului etc. Acești factori evocatori, descoperiți cu sutele la unele animale, explică numeroase particularități morfologice externe și rolul lor fiziologic.

Animalele inferioare, pentru care lumea exterioară nu reprezintă decît o *Merkwelt* (lume din semne) (Uexhüll, 1921), cunosc obiectele din lume doar pe baza unui foarte mic număr de semne. Pentru animalele superioare, lumea reprezintă o *Gegenwelt* (lumea opusă), cunoscută prin numeroase semne caracteristice ce se pot înlocui în declanșarea reacțiilor instinctive (regula pluralității stimulilor, P.P. Grassé) sau acumula, un singur semn fiind fără acțiune (regula sumărilor eterogene, Lorenz și Tinbergen). Stimulul evocator declanșează la animal o serie de acte simple sau complicate, mereu aceleași (secvență) și care se desfășoară într-o ordine fixă (ritualul reproducerii, al cuibăritului etc.) pînă la actul final (actul consumator).

În perspectiva obiectivistă, comportamentul instinctiv include:

1) *O comportare de apetență* datorată motivării, comportamentului de explorare sau de căutare a obiectului capabil de a satisface tendința. Intensitatea reacției instinctive depinde de forța motivării; aceasta este adesea proporțională cu durata de privare care creează necesitatea. Lorenz (1949) a propus o schemă hidraulică pentru a arăta că în cursul privării se acumulează în organism o „energie endogenă“. Sub acțiunea unei stimulări convenabile, această energie endogenă se va descărca printr-o reacție instinctivă.

2) Un act consumator provocat de perceperea semnului potrivit. Această activitate este endogenă și caracterele sale ereditare se manifestă net în activitățile „vide“. Tinbergen a emis ipoteza că unui sistem ierarhizat de reacții îi corespunde o ierarhie de centri nervoși, centrii superiori fiind substraturile motivării, centrii secundari comandînd actele consumatoare.

Din ansamblul caracterelor rezultă că există o opoziție între tropisme și patii, pe de o parte, și instincte, pe de alta. Deci problema care se pune nu mai este de a reduce instinctele la tropisme. Totuşi, nu s-ar putea oare ca tropismele şi patiile să participe la comportamentul instinctiv? Pentru a detecta aportul tropismelor au fost analizate o serie de instincte complexe.

---

[23] Se mai numesc și *stimuli-cheie*. — *V.S.*

Confecţionarea pînzei de păianjen a fost studiată cu atenţie la *Orbiteli*. Păianjenii trataţi cu droguri neurotrope îşi ţes pînza după schema obişnuită, chiar dacă funcţiile de ţeser sînt perturbate. Fabricarea pînzei implică, deci, scheme de comportament *(behaviour patterns)* înnăscute sau ereditare; tropismele par să dirijeze reacţiile specifice sau, mai degrabă, să le inhibe.

Migraţiile peştilor şi păsărilor se efectuează după două mari tipuri (Wachs, 1926); fie pe un front larg, fie pe anumite căi. Primele au loc pe o arie întinsă care coincide aproape cu liniile de egală variaţie a condiţiilor fizice (lumină, temperatură, salinitate etc.).

Tropismele sau patiile sînt cele care condiţionează reacţiile motrice ale planctonului, ale peştilor sezonieri (heringi şi moruni, peşti de apă rece sau de apă caldă). Tot acestui tip de mişcări aparţine şi migraţia leptocefalilor, larvele anghilelor (ţiparilor). În cursul unei îndelungate cercetări (1905—25), J. Schmidt a descoperit că anghilele europene se reproduc exclusiv în regiunea centrală a Mării Sargaselor; hărţile pe care le-a întocmit arată că aceste migraţii sînt determinate de condiţiile fizice ale mediului. Transformarea leptocefalilor în anghile este însoţită de modificări ale tropismelor, ca urmare a unei acţiuni hiperhipofizare (Vitter, 1946) sau din cauza deshidratării legate de hipertiroidismul metamorfozei; în consecinţă, anghilele urcă în amontele fluviilor. Păsările care migrează pe întinderi vaste sînt supuse, de asemenea, variaţiilor condiţiilor fizice.

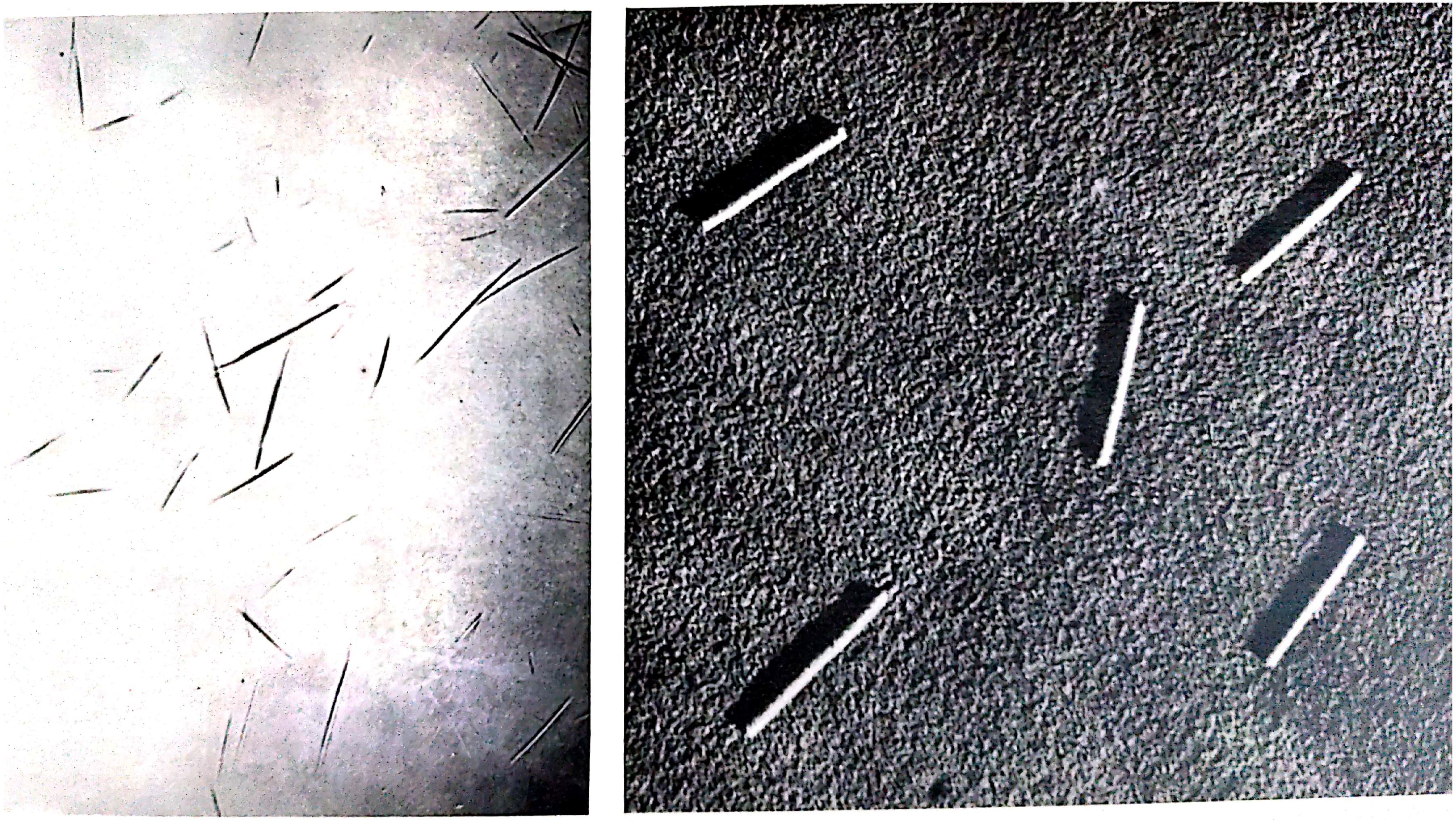
Migraţiile pe direcţii definite se prezintă cu totul diferit; ele intersectează izotermele şi nu oferă legături cu liniile de variaţii ale condiţiilor fizice.

Peştii talasotoci (anghila) şi peştii potamotoci (somnul) efectuează migraţii mari (5 000—6 000 km în cazul anghilelor) pe itinerare determinate. Variaţiile mediului se manifestă la anghile sub forma unui ansamblu de semne care ar conduce migraţia pe termen lung. Migraţia lor apare deci ca un instinct, şi nu ca un ansamblu de tropisme. Migraţiile somnului depind, de asemenea, de complexul de semne perceptive specifice (Scheuring, 1929). Variaţiile factorilor externi declanşează migraţia unor indivizi pregătiţi fiziologic (Fontaine). Tropismele ar putea să intervină în declanşarea migraţiei, dar deplasarea pe căi definite şi descoperirea locurilor de împerechere sînt datorate instinctelor.

Migraţiile păsărilor îmbracă acelaşi aspect ca şi cele ale peştilor; independente faţă de condiţiile climatice, ele sînt condiţionate de reacţii perceptive şi prezintă deci instincte.

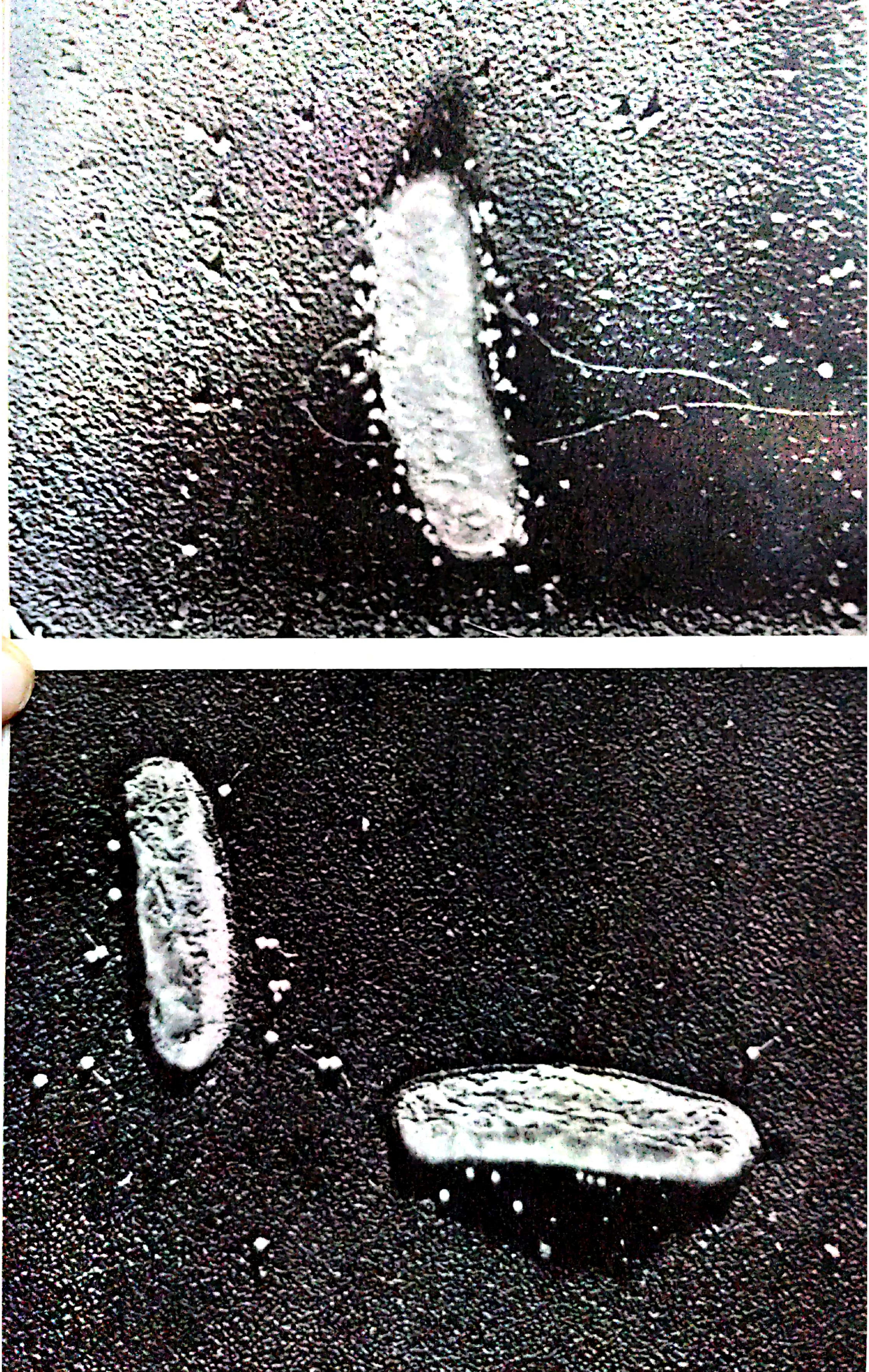
Orientarea păsărilor migratoare a fost mult discutată. S-a urmărit o evoluţie de la fototropism pînă la orientarea după soare: orientarea mnemotactică (Kühn, 1919) la insecte, este un important factor director; orientarea mnemotactică în care lumina este un semn; experienţele asupra „*homing*-ului“ furnicilor (A. Brun) şi al albinelor (E. Wolff); cercetări asupra călătoriilor şi dansurilor albinelor (von Frisch); în sfîrşit, orientarea mnemotactică complexă datorită apariţiei posibilităţii de a corecta unghiurile de marş în funcţie de poziţia soarelui, la albine (von Frisch), la talitre, la păsări (Kramer, 1952).

41. CRISTALE ŞI PARTICULE VIRALE ALE MOZAICULUI TUTUNULUI (VMT)



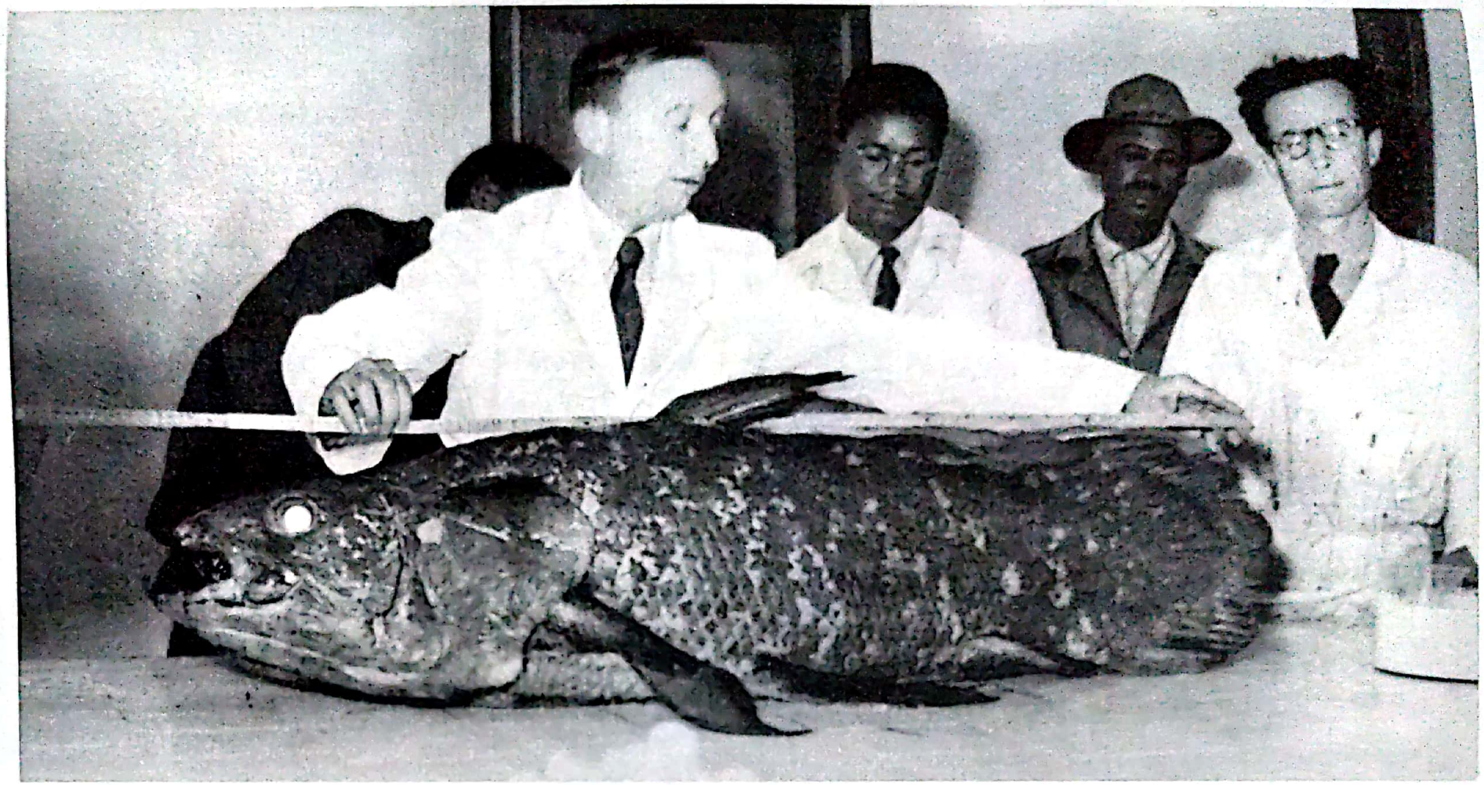
1

2

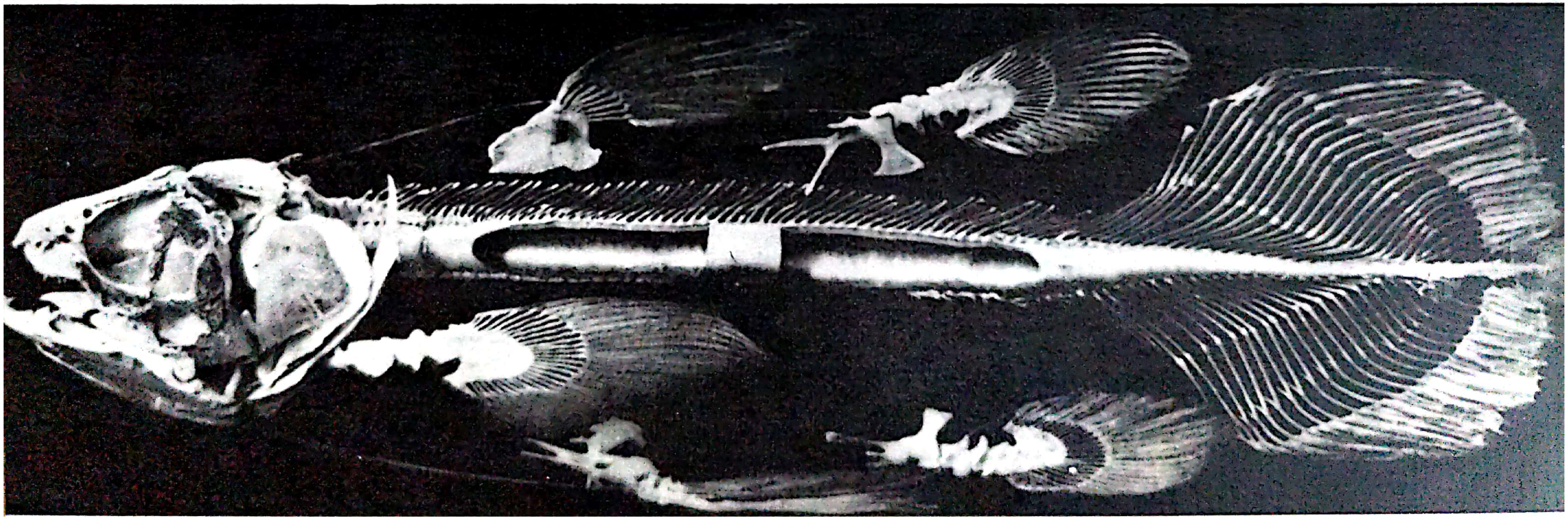


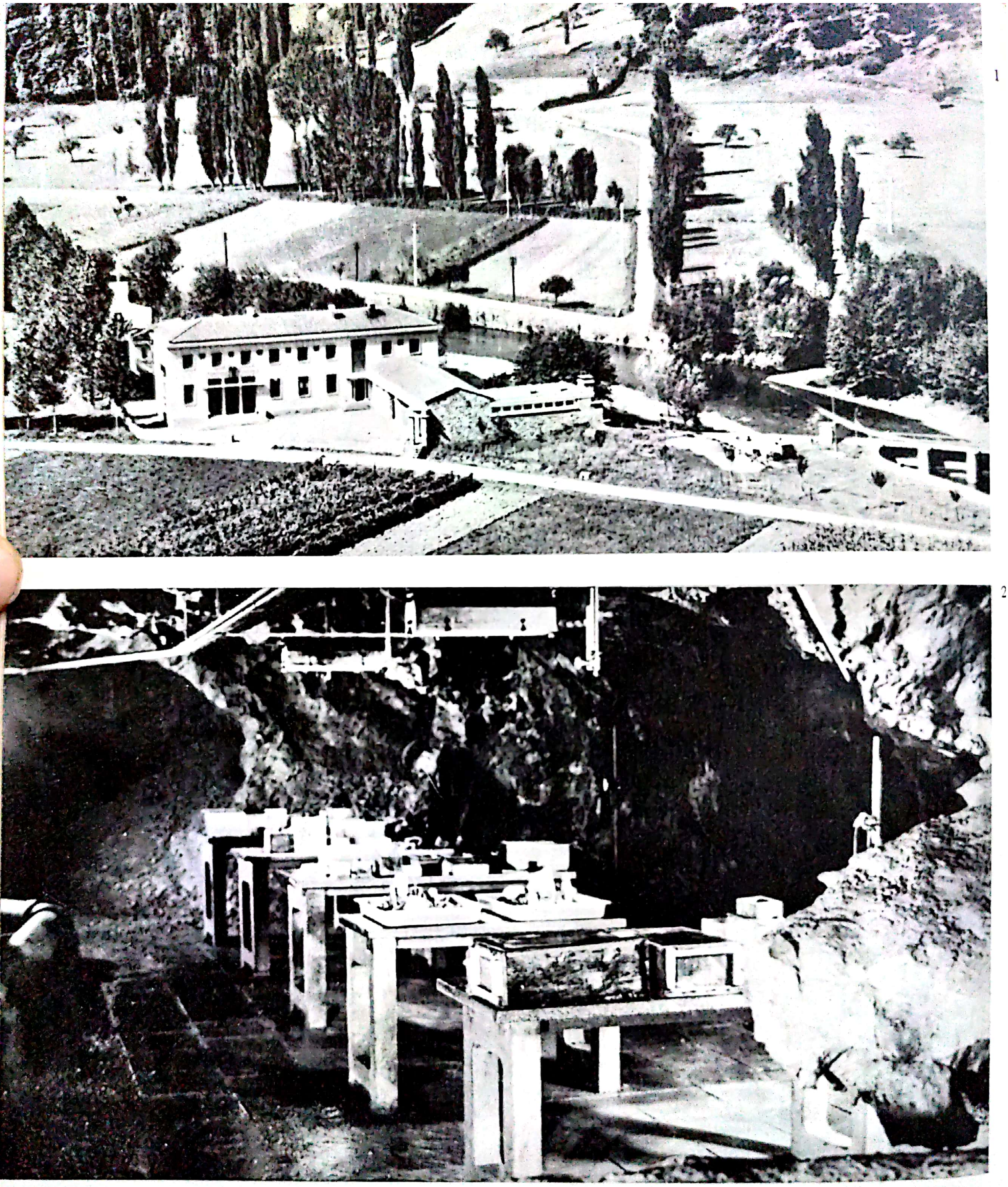
43. COELACANTUL

1



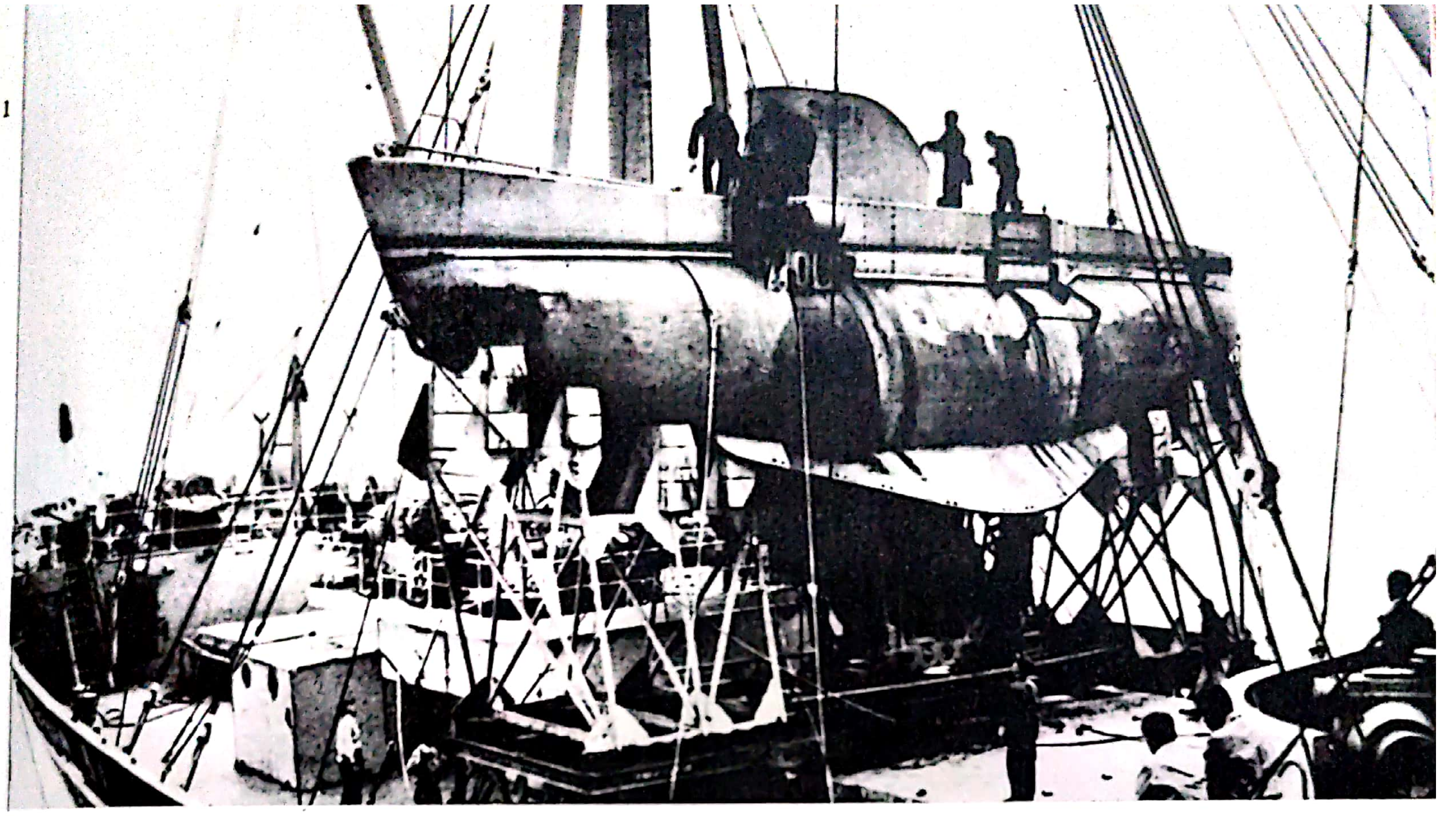
2



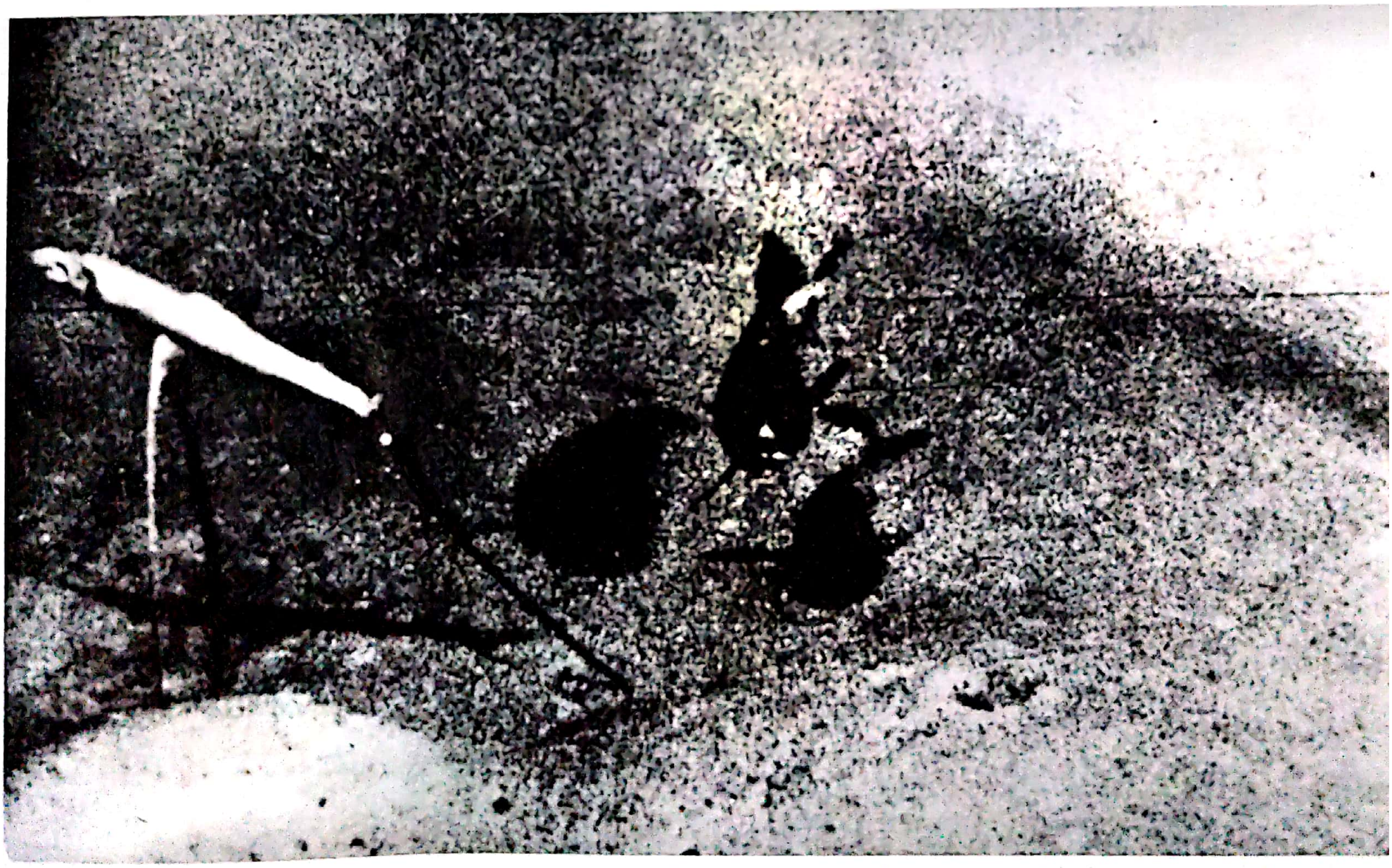


44. LABORATOR SUBTERAN AL C.N.S.R. DE LA MOULIS

1

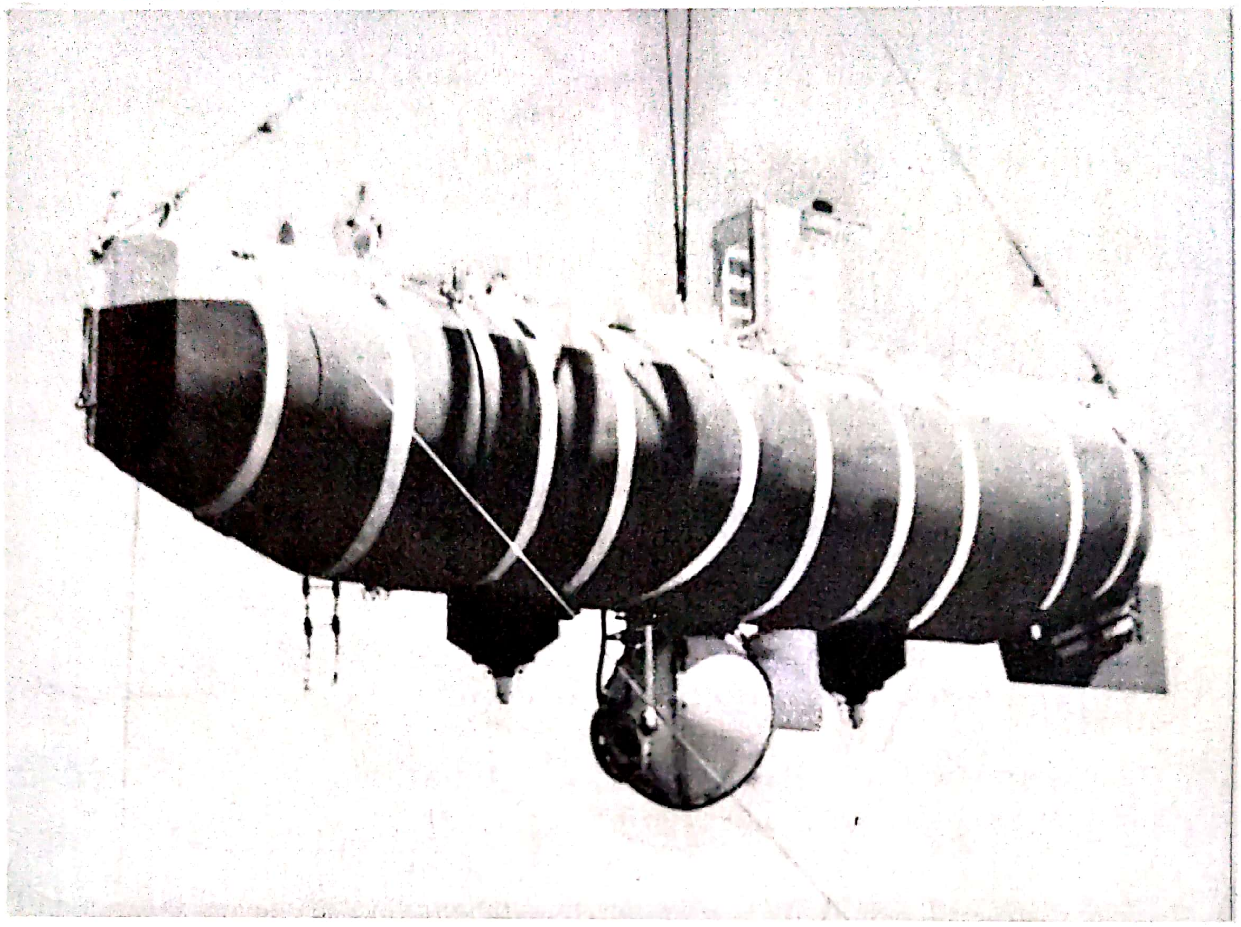


2

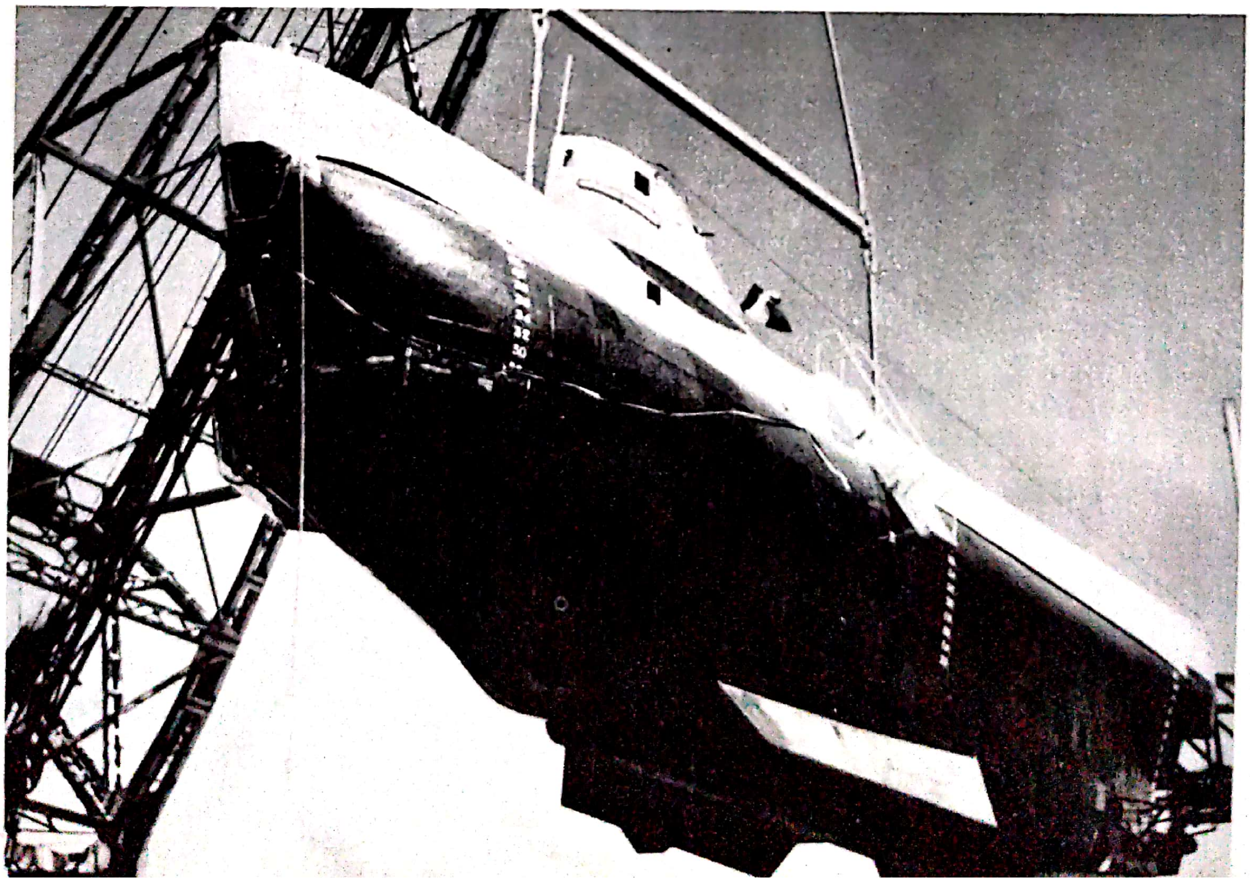


45. BATISCAFUL «F.N.R.S. III». FAUNĂ SUBMARINĂ

46. BATISCAFURILE «TRIESTE» ŞI «ARHIMEDE»



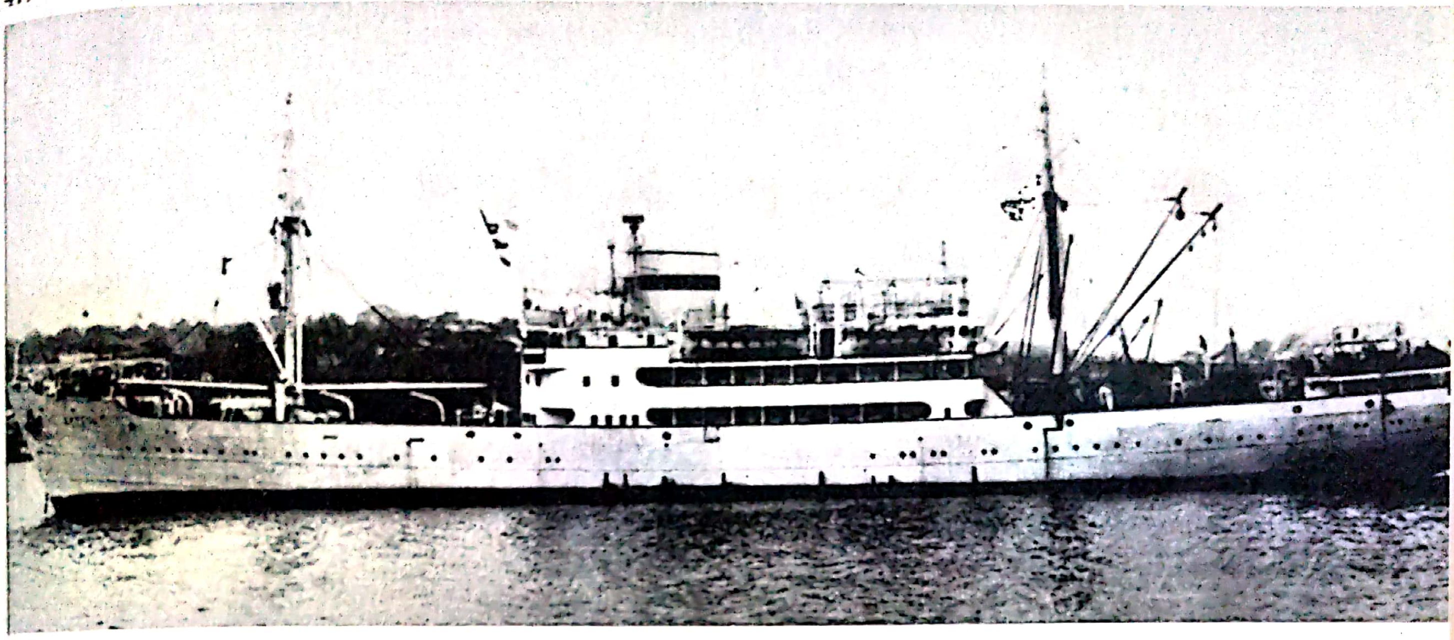
1



2

47. VASUL «VITEAZ» ŞI CERCETAREA OCEANOGRAFICĂ

1



2

48. REZERVAŢII ZOOLOGICE ÎN SUDUL AFRICII

P.P. Grassé (1942) a analizat instinctul roirii la termite. La începutul comportamentului sau în anumite faze intervin cîteva tropisme, apoi tot restul este determinat de reacţii instinctive.

Studiul fonotropismelor şi al comportării acustico-sexuale este strîns legat de progresele fiziologice acustice. Recent, au fost publicate lucrări de sinteză asupra acestui subiect (Haskell, 1961; Busnel, 1962). Cercetările lui Busnel şi ale colectivului său oferă aplicaţii practice folosind, de exemplu, fonocinezele lăcustelor migratoare pentru a le îndepărta de regiunile agricole pe care ar urma să le devasteze; acelaşi lucru şi în cazul corbilor.

În aceste exemple, tropismele se manifestă mai ales cu ocazia comportamentelor de apetenţă, dar nu intervin în actele consumatoare care reprezintă în esenţă instincte. Din această cauză, în instinctele simple (repulsii şi atracţii), tropismele şi patiile ocupă un loc mai important, iar faza consumatoare este foarte redusă.

FENOMENE „SOCIALE“. Teoriile lui Lorenz şi Tinbergen se bazează în mare măsură pe parada sexuală a păsărilor; în acest caz, evocatorii sînt greu de deosebit. Sub influenţa lui Grassé, în Franţa lucrările au fost orientate spre fenomenele sociale şi în special spre societăţile de insecte.

Grupările de animale pot constitui mulţimi în care nu există nici o atracţie a indivizilor unii către alţii (Rabaud, Picard), asociaţii parazitare active, caracterizate printr-o atracţie unilaterală şi interspecifică; în sfîrşit, există grupări sociale în care individul exercită o acţiune stimulatoare asupra semenilor, întreaga grupare exercitînd, la rîndul ei, o acţiune asupra individului. Realitatea atracţiei reciproce sau a interatracţiei a fost verificată experimental la gîndacii de bucătărie (*Blatta*) (Ledoux, 1945), la lăcusta *Zonocerus* (Guillaume, 1956).

Din grupările „sociale“ fac parte reuniuni necoordonate simple (inclusiv reuniunile sezoniere şi cele pentru somn), precum şi reuniuni coordonate. Coordonarea mişcărilor este remarcabilă în stolurile de acridieni migratori. Uvarov a arătat că lăcustele migratoare există sub două forme: o formă solitară verzuie, limitată la regiuni gregarigene, şi o formă gregară cu predominanţă portocalie sau neagră, care părăseşte regiunile gregarigene şi efectuează devastări clasice (fenomenul fazelor Uvarov, 1928).

Efectele de masă (acţiunea modificărilor pe care suprapopularea le impune mediului, şi care se răsfrîng asupra indivizilor unei populaţii concentrate) pot avea un efect protector faţă de unele condiţii nefavorabile (Bohn şi Drzewina, 1920; Allen, 1928—34). Efectele de grup (influenţa reciprocă a stimulilor senzoriali ai indivizilor reuniţi) pot acţiona asupra vitezei de creştere şi asupra metabolismului insectelor (Grassé, Park, Badonnel, Chauwin, Kisimoto); acestea au fost, de asemenea, studiate la porumbei (Harrison) şi la peştii roşii (Shlaifer).

În grupările „sociale“ intervine nu numai interatracţia, ci şi apetenţa „socială“ (Wheeler), sau impulsul intern care conduce animalul spre semenii săi. Interatracţia este independentă de sex şi de viaţa familială; totuşi perioada sexuală şi creşterea tineretului favorizează dezvoltarea grupurilor.

Şcoala obiectivistă a studiat cu multă grijă raporturile „sociale", gesturile şi atitudinile care le însoţesc: raporturile „sociale" din cursul împerecherii, mecanismele raporturilor „sociale" înainte şi după copulaţie, îngrijirile date tineretului, recunoaşterea părinţilor şi a copiilor, stabilirea ierarhiilor (animal alfa şi omega) la păsări, la peşti, la mamifere.

Numeroase lucrări sînt consacrate comportamentului „social" al peştilor, al copitatelor şi animalelor antropomorfe"[24].

TERITORIUL. În organizarea „socială" a vertebratelor, problema teritoriului este foarte importantă. Ornitologii de teren au fost primii care au conceput existenţa noţiunii de teritoriu.

Altum (1968) poate fi considerat drept precursor; E. Howard (*Teritory in bird life*, 1920) a dezvoltat o serie de idei, care, deşi primite la început cu scepticism, au fost ulterior admise; s-au propus exemple de teritorialism la păsări, mamifere, reptile şi peşti.

După Armstrong, teritoriul este o regiune apărată de ocupantul ei împotriva concurenţilor din propria sa specie. Teritoriul la păsări a constituit obiectul unor lucrări de sinteză (Nice, 1941—43; Armstrong, 1947; Mayaud, 1950); Nice şi Allee (1949) recunosc cinci tipuri de teritorii. Păsările „sociale" prezintă un comportament special (Lorenz, 1938; Palmer, 1941). Cu cît „societatea" este mai complexă, cu atît comportamentul teritorial individual tinde să dispară în favoarea unei apărări colective de către ansamblul indivizilor. La reptile, teritoriul individual se manifestă mai ales în timpul reproducerii.

Între comportamentul teritorial şi ierarhia „socială" există un raport. La mamifere, Burt (1943) deosebeşte un domeniu vital *(home range)*, sau zona frecventată în mod regulat de individ, şi teritoriul propriu-zis, redus la zona apărată de proprietarul ei împotriva semenilor. Agresivitatea mamiferelor se manifestă numai în împrejurimile domiciliului lor; comportamentul teritorial nu există decît la speciile monogame sau poligame. La primate se observă existenţa unor teritorii colective.

INSECTE „SOCIALE". „Societăţile" superioare la insecte, albine, furnici, viespi şi termite sînt puternic diferenţiate şi organizate şi prezintă maximul de complexitate a relaţiilor „sociale". Însăşi interatracţia dintre indivizii din caste diferite, ca şi apetenţa „socială", prezintă o dezvoltare maximă şi un caracter obligatoriu.

Interdependenţa ce leagă diverşii indivizi ai grupului „social" este şi ea extremă; un individ izolat supravieţuieşte cu greutate (Grassé şi Chauvin, 1944). În general, „societatea" este închisă şi nu admite intrarea unor indivizi străini; numai unele nevertebrate „nesociale" sînt tolerate (termitofile, mirmecofile, apidifile etc.). Grupul „social" se compune din indivizi care aparţin tuturor stadiilor de dezvoltare şi unor caste mai mult sau mai puţin diferenţiate (polimorfism „social"). Activităţile colective, şi mai ales construcţiile, sînt complexe.

Numeroase cercetări sînt consacrate polimorfismului „social" şi determinismului său la termite, albine, furnici şi viespi.

---

[24] În colectivităţile de animale sînt eficace aşa-zisele *sociosemnale*. Procesul prin care unele comportamente îşi pierd semnificaţia adaptativă iniţială, devenind semnale de comunicare, a fost numit *ritualizare*. — *V.S.*

Printre lucrările recente asupra albinelor, vom cita: descoperirea feromonului prin care regina își exercită acțiunea ei specifică; inhibarea dezvoltării ovarelor lucrătoarelor care ling hormonul pe tegumentele reginei (Butler, Pain și Barbier); metodele de construcție și capacitățile de reparare ale albinelor (Darchen); limbajul lor (von Frisch, Lindauer, Heran). Raignier și Stammer au studiat viața „socială" a furnicilor, iar Deleurance și Roubaud, pe cea a viespilor. În ceea ce privește termitele, acestea au constituit obiectul a numeroase studii efectuate de P.P. Grassé și școala sa: cercetări asupra reglării „sociale", încercări de interpretare a comportamentului termitelor constructoare (stigmergie), sociotomie sau împărțirea „societății" la termitele africane etc. Studiind comportamentul de prădător al unei himenoptere, *Liris migra*, vînător de greieri, Steiner (1962) a pus în evidență „o cunoaștere anatomică instinctivă", ceea ce reprezintă o concluzie științifică și care confirmă vechile observații ale lui Fabre, contestate într-o perioadă de mulți zoologi.

Această rapidă trecere în revistă dovedește că etologia cunoaște un avînt remarcabil; rezultatele obținute constituie premisa unor progrese viitoare[25].

[25] Etologia este „la ordinea zilei" și din cauza unor implicații etice și sociale. Unii teoreticieni occidentali au afirmat „fatalitatea" războiului (fenomen social-uman!), pornind de la existența unui așa-zis *instinct de agresiune*. În realitate, comportamentul agresiv este întotdeauna *secundar*, este o ripostă distructivă la obstacole în calea satisfacerii unei pulsiuni (unei porniri, instinctive sau nu). K. Lorenz a dezbătut pe larg consecințele agresivității la animale și a arătat că selecția naturală a promovat reacții comportamentale care evită ca agresiunea intraspecifică să aibă consecințe funeste. I. Eibl-Eibesfeld, la rîndul său, a subliniat faptul că selecția naturală a promovat și mecanisme opuse, de tipul „simpatiei". Ardrey, pornind de la ipoteza că pre-oamenii (australopitecinele) erau vînători și canibali, a tras consecințe antropologice pesimiste. Combaterea *biologismului etologist* de pe poziții marxiste a fost făcută, recent, de W. Hollitscher (1971).

Alte conexiuni între etologie și antropologie au fost încercate de Desmond Morris, care s-a ocupat de nuditatea corporală a omului („maimuța nudă"), pe care o explică prin detalii ale vieții de vînător. Tot Morris a examinat analogiile dintre viața omului civilizat și viața animalelor din grădinile zoologice.

Dincolo de aceste speculații, etologia își vădește un real interes antropologic, ca punct de plecare în studiul componentelor ereditare (comune speciei) ale omului: în probleme de sexualitate, de comunicație etc.

G. Tembrock (1971) a întemeiat o nouă disciplină, *știința biocomunicației*, care se folosește de date etologice, fiziologice, de modele cibernetice, informaționale, semiotice și lingvistice. — *V.S.*

CAPITOLUL IV

Genetica și evoluția*

A. GENETICA

Remarcabilele lucrări ale lui Mendel, fondatorul geneticii, datează din 1865 (vezi vol. III, 1, pp. 560—561). În acea epocă însă ele au trecut cu totul neobservate, rămînînd astfel pînă în 1900, un an deosebit de fecund, în care trei botaniști, olandezul Hugo de Vries, germanul K. Correns și austriacul E. von Tschermak, au redescoperit — independent unul de celălalt — legile hibridării vegetative. În aceeași perioadă, doi zoologi — englezul W. Bateson și francezul L. Cuénot — aplicau aceste legi la animale. Articolul lui Mendel, revenit în atenția specialiștilor, a fost republicat și tradus în limba franceză (A. Chappelier, 1907) și engleză (Bateson, 1909). Legile hibridării au primit denumirea de *legile lui Mendel*, caracterul unitate a fost numit *caracter mendelian*, iar mendelismul a început să reprezinte știința încrucișărilor. În 1906, Bateson a introdus termenul de *genetică* pentru a denumi noua știință a eredității și acesta s-a bucurat imediat de un mare succes. Legile lui Mendel au fost verificate pe un număr considerabil de plante și de animale de către primii geneticieni: Cuénot în Franța, Bateson în Anglia, Lang în Elveția, Correns și Baur în Germania, Nilsson-Ehle în Suedia, Castle, East, Shull și T.H. Morgan în Statele Unite.

După 1910, genetica a luat un nou avînt în urma experiențelor efectuate asupra musculiței de oțet (*Drosophila*), care reprezenta un material experimental favorabil (Woodworth și W.E. Castle, 1901), ales de T.H. Morgan și datorită căruia el și colaboratorii săi, C.B. Bridges, A.H. Sturtevant, H.J. Muller, au descoperit localizarea cromozomică a genelor și au pus astfel bazele geneticii moderne. Treptat, a apărut tendința de a se înlocui drosofila prin *Neurospora* (ciupercă ascomicetă) și prin diverse microorganisme.

Actualmente, genetica formează o știință complexă care poate fi împărțită în trei ramuri principale[1]:

1) *Genetica formală și citologică*, ce studiază legile transmiterii caracterelor ereditare și descrie mecanismele citologice care guvernează această transmitere;

---

* Întregul capitol este scris de pe pozițiile geneticii clasice și informațiile se opresc în jurul anului 1960. — *C.M.*

[1] Clasificarea propusă, de inspirație clasică, este depășită. După fenomenul sau fenomenele majore pe care le studiază, genetica poate fi împărțită în: genetică moleculară, citogenetică, radiogenetică, imunogenetică, farmacogenetică, genetica populațiilor, genetica medicală etc. — *C.M.*

2) *Genetica fiziologică*, care studiază modurile de manifestare a genelor şi analizează acţiunea mediului asupra efectului produs de gene (fenogenetica);
3) *Genetica evolutivă*, care studiază mutaţia şi selecţia şi relaţiile lor cu variaţiile cantitative şi calitative ale populaţiilor[2].

1. Genetica formală

Una dintre primele probleme constă în stabilirea naturii şi localizării factorilor ce determină caracterele ereditare şi care sînt puşi în evidenţă prin segregarea lor independentă.

Correns, Cannon şi mai ales şcoala americană a lui E.B. Wilson şi W.S. Sutton (1902) au remarcat faptul că comportarea factorilor mendelieni corespunde celei a cromozomilor. Treptat, s-a edificat o teorie cromozomială a eredităţii care oferă astăzi o explicaţie coerentă a faptelor. Înainte de a prezenta progresele acestei teorii, vom aborda două probleme conexe: ereditatea legată de cromozomul de sex X şi fenomenele de înlănţuire[3] *(linkage)*.

EREDITATEA LEGATĂ DE CROMOZOMUL SEXUAL X. Numeroase observaţii au arătat că determinarea sexului este dependentă de repartiţia anumitor cromozomi în timpul meiozei. Încă din 1891, Henking a remarcat, în cursul spermatogenezei la o insectă din grupul hemiptere, prezenţa unui cromozom special pe care l-a notat cu simbolul X şi care nu există decît în jumătate din spermatide. Acest cromozom X a fost regăsit la diverse insecte iar McClung (1901) a stabilit o legătură între prezenţa sau absenţa sa şi determinarea sexului. Rolul real al cromozomului X a fost studiat de Wilson şi elevii săi, Stevens şi Morrill (1905—1908).

În 1909, Morgan a încercat, fără succes, să provoace artificial mutaţii la drosofilă. Observînd în culturile sale apariţia unor mutaţii spontane, el le-a utilizat la încrucişări şi a descoperit astfel ereditatea legată de cromozomul de sex *(sex-linked)*. Morgan a dovedit că în cadrul speciei umane, daltonismul se datorește unei gene recesive situate pe acest cromozom.

Heterocromozomii şi ereditatea legată de cromozomul de sex au stimulat numeroase cercetări. Mulsow (1912) a urmărit pe viu la un nematod *(Ancyracanthus)* distribuţia heterocromozomilor. Mohr (1914) a stabilit distribuţiile cromozomului X la ortoptère.

Într-o primă categorie, femela este homogametică iar masculul heterogametic posedă un cromozom X fără partener sau X cu un partener mai mic denumit Y. Masculul de tipul XY constituie probabil cazul general la mamifere (Painter, 1922—30; Minouchi Ohta, Matthey, Okuma, Makino, de Winiwater). Într-o a doua categorie, masculul homogametic posedă o pereche de cromozomi de sex identici, numiţi ZZ, iar femela are un singur Z sau o pereche neidentică, ZW. Această repartiţie a fost observată la arici-de-mare, fluturi, păsări şi reptile.

---

[2] Genetica evolutivă, chiar în contextul de faţă, nu studiază numai mutaţiile şi selecţia, ci totalitatea factorilor care au asigurat evoluţia, deci mutaţia, recombinarea, migraţiile, izolarea, procesele genetice întîmplătoare şi selecţia naturală. — *C.M.*

[3] Transmitere înlănţuită a genelor.

Transmiterea a numeroase caractere evidenţiază ereditatea legată de cromozomul de sex, după cum dovedesc variatele încrucişări realizate la drosofila (Guyénot, Morgan etc.), fluturi (Doncaster), galinacee (Goodale, Hagedoorn etc.), raţe, porumbei[4].

TRANSMITEREA ÎNLĂNŢUITĂ A CARACTERELOR *(LINKAGE)*. Transmiterea înlănţuită a caracterelor pare a constitui o excepţie de la cea de-a doua lege a lui Mendel sau legea segregării independente. În cazul unor încrucişări, anumite înlănţuiri de caractere observate la bunici reapar mult mai frecvent decît recombinările lor.

Unul dintre primele cazuri de transmitere înlănţuită a fost observat la sîngele voinicului *(Lathyrus odoratus)*, de W. Bateson şi R.C. Punnett, în 1906. Intensitatea legăturii dintre cele două gene este dată de proporţia gameţilor recombinaţi sau de procentul de recombinare, ale cărei metode de măsurare au fost puse la punct de K. Mather (1938—1951). Morgan şi Sturtevant au studiat semnificaţia diferitelor procentaje caracteristice de recombinare.

Efectuarea a mii de încrucişări a permis stabilirea poziţiei genelor. La drosofilă, genele cunoscute se reunesc în patru grupe, între care nu are loc niciodată o transmitere înlănţuită *(linkage)*. Interpretarea rezultatelor obţinute în urma *linkage*-ului între mai mult de două gene din acelaşi grup a dovedit că, prin gruparea acestor experienţe, se poate reconstitui succesiunea liniară a genelor. Procentajul de recombinări fiind dependent de distanţa liniară dintre două gene, s-a putut determina această distanţă, iar pe baza ei s-a întocmit o adevărată hartă a cromozomilor la *Drosophila melanogaster:* Morgan, C.B. Bridges şi A.H. Sturtevant; la porumb: Emerson, G.W. Beadle, Fraser. Pentru numeroase specii animale şi vegetale au fost stabilite hărţi parţiale cromozomice; pentru om, a început elaborarea unor astfel de hărţi, mai ales pentru cromozomii sexuali (J.B.S. Haldane)[5].

Fenomene de *linkage* foarte generale au fost puse în evidenţă şi la porumb şi la alte vegetale, precum şi la iepure, şoareci, şobolani etc. Recent a fost propusă (Owen, 1950) o reprezentare mai completă a acestor fapte.

TEORIA CROMOZOMICĂ A EREDITĂŢII. Această teorie fundamentală reprezintă consecinţa ipotezelor „micromeriste" (Y. Delage) care, încă de la Maupertuis şi Buffon, în secolul al XVIII-lea, încercau să explice caracterele ereditare prin existenţa în celulele germinale a unor particule microscopice care sînt transmise urmaşilor. Diferiţi biologi, printre care trebuie citat în primul rînd T.H. Morgan şi şcoala sa, au demonstrat că genele sînt situate pe cromozomi unde ocupă locuri fixe, *locusuri* (la singular *locus*), dispuse liniar de-a lungul fiecărui cromozom.

---

[4] Ereditatea legată de sex este bine cunoscută şi la om. Se cunosc relativ numeroase tulburări condiţionate de mutaţii situate pe cromozomul X. Exemplul cel mai celebru este hemofilia. În acest tip de ereditate femeile sînt de obicei purtătoare, iar bărbaţii, afectaţi. — *C.M.*

[5] La o bacterie — colibacil — care are numai cîteva sute de gene, a fost stabilită poziţia tuturor genelor. La om, situaţia este mult mai complicată (vezi anexa de la sfîrşitul capitolului). — *C.M.*

Încă din 1909, citologul belgian F.A. Janssens a încercat să detecteze la microscop procesele intermediare ale eredităţii. Pornind de la o observaţie efectuată asupra celulelor sexuale ale unei salamandre, el a propus teoria chiasmatipiei: schimbul de segmente omoloage între cromozomii paterni şi materni în cursul meiozei. Această idee a fost reluată în 1911 de Morgan, care a pus bazele celebrei teorii a schimbului de porţiuni cromozomice sau *crossing-over*.

În 1916, Bridges a dovedit că fenomenul de *crossing-over* are loc în stadiul de patru filamente cromatice. În 1931, cercetările lui H. B. Creighton şi B. McClintock asupra porumbului au adus o nouă şi strălucită confirmare a realităţii acestui fenomen.

DOVEZI ALE LOCALIZĂRII CROMOZOMICE. Teoria cromozomică are o mare capacitate explicativă, iar numeroase dovezi confirmă exactitatea sa.

O primă dovadă constă în identitatea dintre numărul haploid de cromozomi şi numărul grupelor de *linkage*. Corespondenţa exactă este uneori greu de stabilit. Astfel, la porumb, la care numărul haploid de cromozomi este 10, cea de a 10-a grupă de *linkage* nu a fost descoperită decît în 1935, de către Emerson. O altă dovadă este furnizată de relaţiile dintre cromozomii de sex şi fenomenele ereditare pe care le determină. Toate observaţiile au arătat că sexul heterogametic din punct de vedere genetic este la fel şi din punct de vedere citologic. Interpretarea exactă a eredităţii legată de cromozomul de sex a fost stabilită prin verificări citologice evidente. Anomalii sporadice, „rateuri“ ale mecanismului respectiv, au permis efectuarea unor verificări decisive: nedisjuncţia cromozomilor X (Bridges, 1916); descendenţa cu doi cromozomi X ataşaţi (M.L.V. Morgan, 1922, 1938) etc. O a treia dovadă o aduce compararea anomaliilor ereditare şi a accidentelor citologice a altor cromozomi (autozomi) decît cei sexuali: anomalii numerice ale perechii a IV-a de cromozomi ai drosofilei.

DOVEZI ALE DISPUNERII LINIARE A GENELOR PE CROMOZOMI. Aceste dovezi sînt furnizate de studiul modificărilor cromozomice şi mai ales de translocaţii şi deficienţe (deleţii). Descoperirea cromozomilor uriaşi în nucleele glandelor salivare ale drosofilei de către Bridges şi T. Painter în 1933 (aceste nuclee uriaşe au fost semnalate încă din 1881 de Balbiani) a permis observarea unei structuri reale, ce se suprapune structurii ipotetice stabilite conform rezultatelor genetice. A fost efectuată analiza cromozomilor, a structurii şi semnificaţiei eucromatinei şi heterocromatinei (Schultz, Caspersson, Darlington). Numărul şi succesiunea benzilor pe fiecare cromozom sînt constante: au fost stabilite hărţi citologice amănunţite ale cromozomilor cu peste 5 000 de benzi numerotate (cromozomii salivari ai drosofilei, Bridges şi Brehme, 1944). Au fost precizate poziţiile (locusurile) genelor a 400 de mutaţii. Orice anomalie în structura cromozomilor se concretizează prin anomalii distincte şi strict localizate pe cromozomii uriaşi.

TEORIA *CROSSING-OVER*-ULUI. Existenţa fenomenului de *crossing-over* nu mai poate fi pusă la îndoială, dar mecanismul lui nu a fost încă lămurit. Ludwig a redactat un tratat fundamental asupra acestei probleme care prezintă aspecte matematice destul de complexe (Weinstein, Mather). Anumiţi factori modifică numărul de *crossing-over*: vîrsta femelei, temperatura, radiaţiile X, aberaţiile cromozomice. Astăzi, teoria chiasmatipiei, elaborată de Janssens (1909 şi 1924) şi perfecţionată de Belling şi Darlington (1931—33), este general acceptată: *crossing-over*-ul se realizează în timpul profazei primei diviziuni, cînd cromozomii se află în contact într-un punct numit chiasmă. Observaţiile genetice efectuate asupra ciupercilor ascomicete au dovedit că la fiecare *crossing-over*, două cromatide din patru suferă o recombinare. Chiasma reprezintă deci manifestarea citologică a *crossing-over*-ului şi există două teorii (Darlington, 1935 şi White, 1942) care încearcă să-i explice mecanismul.

2. Genetica fiziologică

Această ramură a fiziologiei se ocupă de modul în care genele realizează caracterele ereditare (fiziologia genei) şi de acţiunea mediului asupra manifestării genei (fenogenetica).

DIVERSE TIPURI DE GENE. Cuénot a arătat (1903—1906) că variaţiile pigmentate ale blănii la şoareci sînt condiţionate de diferite forme ale aceleiaşi gene; aceste forme care iau naştere prin mutaţii sînt alele multiple (Cuénot, 1928; Gruneberg, 1943).

Au fost puse în evidenţă alele multiple care determină diferite caractere: decolorarea ochiului la drosofilă (Morgan, Bridges, Schultz), colorarea în bleu-liliachiu a florilor de in, numărul de năpîrliri larvare la *Bombyx mori* (Ogura); genele de incompatibilitate la plantele superioare (Lewis, 1949; Gagneu, 1950) etc. Fiecare locus al unui cromozom poate fi ocupat de oricare dintre alelele din aceeaşi serie.

Caracterul fenotipic rezultă foarte adesea din interacţiunea mai multor gene, fie complementare, fie omoloage. Genele complementare, de natură diferită, formează un complex cu un număr variabil de gene, a căror prezenţă este obligatorie. Se deosebesc gene principale, gene condiţionale, gene modificatoare. Se deosebesc gene de intensitate, gene de distribuţie.

Printre genele condiţionale, gena C este indispensabilă la orice pigmentare a părului la mamifere; dacă gena C este înlocuită cu *c*, animalul va fi un albinos, oricare ar fi genele sale de colorare. Prin urmare, fenomenul de albinism[6] ascunde formule genotipice variate; acest fenomen, care a fost pus în evidenţă de Cuénot, a fost numit de către Tschermak criptometrie. Genele omoloage de natură diferită exercită o aceeaşi acţiune, iar efectele lor se combină algebric. Aceste gene — denumite polimere (Lang), homomere (Plate) etc. — condiţionează numeroase caractere cantitative care apar în proporţii diferite la hibrizi.

Genele pleiotrope, extrem de frecvente, guvernează multiple manifestări aparente. Observate deja de Mendel, ele au fost semnalate la fasole (Johannsen), la ovăz, la drosofilă, la vizon etc. Foarte adesea, în cazurile de pleiotropie, gena determină o acţiune principală, iar reacţia declanşată provoacă o serie de fenomene secundare şi terţiare.

---

[6] Fenomenul de albinism este bine cunoscut, el reprezentînd o eroare în metabolismul melaninei şi fiind condiţionat de mai multe mutaţii care tulbură lanţul metabolic. — *C.M.*

Primele gene letale au fost descoperite de Cuénot (1911). Crescătorii ştiau de mult timp că şoarecii galbeni constituie o linie nefixabilă; ipoteza formulată de Cuénot, conform căreia şoarecii galbeni homozigoţi nu sînt viabili, a fost confirmată de observaţiile lui Kirkham. Genele care în starea homozigotă sînt incompatibile cu viaţa şi care în starea heterozigotă produc un efect vizibil sînt gene letale dominante. Genele letale recesive, care nu se manifestă în starea heterozigotă, sînt foarte frecvente.

INTENSITATEA ŞI SPECIFICITATEA GENEI. Anumite gene acţionează totdeauna, în timp ce altele sînt inconstante în ceea ce priveşte frecvenţa lor de manifestare şi în gradul de realizare. Timofeev-Rezovski (1925) a denumit *penetranţă* frecvenţa de manifestare a unei gene şi expresivitate, gradul său de realizare. El a definit, de asemenea, specificitatea genei, care se concretizează prin cîmpul de acţiune şi prin modul de generalizare al caracterului[7]. Diversele gene modificatoare, care formează mediul genotipic (Timofeev), influenţează penetranţa şi expresivitatea genelor; această interacţiune permite unor gene variate să participe la un acelaşi proces de dezvoltare.

FENOGENETICA. Se ocupă cu studiul sistematic al influenţei mediului (mediu extern sau intern, alte gene sau mediu genotipic, hormoni etc.) asupra realizării caracterelor.

Umiditatea, temperatura, substanţele chimice exercită o acţiune asupra manifestării a numeroase gene; colchicina, de exemplu (Gabriel) şi insulina (Landauer) modifică mai mult sau mai puţin frecvenţa polidactiliei la găini în funcţie de perioada aplicării tratamentului. Goldschmidt consideră că între gene şi fenotip intervin o serie de reacţii, ale căror viteze pot fi modificate de factorii exteriori.

Un exemplu ciudat de interacţiune între gene şi mediu este dat de fenocopii. Supunînd anumite organisme cu genotip normal acţiunii unor factori fizici sau a anumitor substanţe, se obţin indivizi cu anomalii similare celor condiţionate genetic (Goldschmidt, 1935; Landauer, Hadorn)[8].

Acţiunea reciprocă a genelor, sau influenţa mediului genotipic, se manifestă în comportarea genelor alele sau nealele.

---

[7] Penetranţa şi expresivitatea sînt fenomene deosebit de complexe. În mod obişnuit, se spune că o genă are penetranţă mică atunci cînd nu se manifestă constant fenotipic. Dacă însă purtătorii mutaţiei sînt studiaţi intens, se poate constata existenţa unor anomalii minore. În acest caz s-ar putea spune, mai curînd, că gena are o expresivitate variabilă, decît că ea are penetranţă incompletă. — *C.M.*

[8] Este vorba de acţiunea negativă a mediului în timpul dezvoltării embrionare. Uneori, infecţiile virotice ale mamei sau acţiunea de iradiere exercitată asupra mamei pot duce la tulburarea procesului de formare a craniului embrionar (microcefalie). Aceeaşi tulburare este condiţionată şi de mutaţii genice. — *C.M.*

NOŢIUNEA DE DOMINANŢĂ. Progresul geneticii a arătat că legea dominanţei absolute (prima lege a lui Mendel) nu este generală. Adesea o genă dominantă se manifestă incomplet în starea heterozigotă; în acest caz, hibrizii prezintă un tip intermediar.

Dominanţa şi recesivitatea nu ar trebui deci să fie considerate drept proprietăţi intrinsece ale genelor: ele pot fi declanşate de diferiţi factori: vîrstă, temperatură, hormoni sexuali. Modificările nu acţionează asupra structurii genei, ci asupra procesului pe care îl declanşează (experienţele lui Beadle şi Cronradt asupra neurosporei).

Au fost elaborate diverse teorii ale dominanţei. Vechea teorie a lui Bateson şi Saunders (1902), a prezenţei-absenţei (caracterul pozitiv dominant ar corespunde prezenţei unei particule speciale, iar caracterul negativ recesiv, absenţei sale), nu mai prezintă decît un interes istoric; seriile de alele multiple şi mutaţiile inverse au condamnat această teorie. În 1917, R.B. Goldschmidt a formulat o teorie fiziologică a dominanţei: aceasta ar varia cu vitezele relative ale reacţiilor determinate de gene cu intensităţi diferite. Deşi nu rezolvă toate problemele, această ipoteză este destul de satisfăcătoare din punct de vedere fiziologic[9]. Alte teorii consideră dominanţa în legătură cu evoluţia organismelor. După Stanfuss (1910), caracterele dominante ar fi cele mai vechi din punct de vedere evolutiv. După Davenport (1906), caracterele dominante ar reprezenta cel mai înalt grad de dezvoltare. Wright (1929—34), Haldane (1930—32) admit efectul selecţiei asupra alelelor unei gene. După Fisher (1928—32), dominanţa s-ar fi dezvoltat progresiv în urma unei selecţii a genelor modificatoare care a tins să facă asemănători heterozigoţii şi homozigoţii; aceştia din urmă ar exprima un caracter nou care ar fi dominant[10].

EFECTUL DE POZIŢIE. Activitatea unei gene depinde nu numai de puterea sa, de prezenţa genelor modificatoare şi de mediul genotipic, ci şi de situarea sa în cromozom. Acest efect de poziţie a fost pus în lumină de observaţiile lui Sturtevant (1925) şi apoi de cele ale lui Dobzansky, Dubinin, Muller, care au dovedit că două gene produc efecte deosebite, după cum se găsesc în doi cromozomi sau într-unul singur. Perturbînd arhitectura cromozomică, radiaţiile X duc, de asemenea, la astfel de efecte.

MODUL DE ACŢIUNE A GENELOR. Analiza realizării fenotipului a scos în evidenţă procesele fiziologice sau chimice care condiţionează apariţia unui caracter. Moewus şi şcoala sa au arătat că la alga verde unicelulară *Chlamydomonas*, anumite gene acţionează prin intermediul unor enzime specifice care catalizează reacţiile biochimice, iar alte gene intervin în etapele succesive ale lanţului de reacţii.

---

[9] Teoria lui Goldschmidt este incorectă. Se presupune că trăsăturile dominante ar fi condiţionate de mutaţii în genele de control, iar cele recesive, de mutaţii în genele structurale. — *C.M.*

[10] Diferenţa dintre dominanţă şi recesivitate este valabilă numai la nivel fenotipic. La nivel biochimic se constată că fiecare genă controlează sinteza propriului său lanţ polipeptidic. — *C.M.*

Fapte analoage au fost puse în evidenţă de Beadle la ciuperca *Neurospora*. Cînd lanţul de reacţii se efectuează normal, produsele intermediare nu sînt uşor de detectat, dar cînd o mutaţie rupe lanţul, produsele intermediare se acumulează şi pot fi identificate (Horowitz). Fazele succesive ale sintezei metioninei, ale izoleucinei-valinei, ale purinelor şi ale pirimidinelor au fost puse în evidenţă în acest mod; abundenţa enzimelor necesare reclamă existenţa unui număr mare de gene.

Genele acţionează uneori prin intermediul unor substanţe destul de asemănătoare cu hormonii (Beadle şi Ephrussi, 1935)[11]. Alte acţiuni ale genelor sînt, de asemenea, cunoscute în special în cursul dezvoltării, fenomen dinamic în care compoziţia genică joacă rolul esenţial alături de factorul timp. Anumite particularităţi structurale sînt, de altminteri, determinate de acţiuni fizice sau chimice (coloraţia blănii la iepurii de Himalaya, Kaufmann, 1925; numărul de faţete ale ochiului drosofilei, Chevais).

GENETICA MICROORGANISMELOR. Această ştiinţă foarte tînără a făcut progrese imense în cursul ultimilor 20 de ani. Microorganismele reprezintă un material valoros datorită uşurinţei cu care cresc în culturi, duratei scurte a ciclului de reproducere, ca şi datorită variabilităţii lor intense şi a stării haploide care simplifică analiza genetică. Descoperirea mutaţiilor dirijate şi punerea în evidenţă a recombinării genetice între două tulpini de *Escherichia coli* (E.L.Tatum şi J.Lederberg, 1946) marchează avîntul geneticii bacteriene.

Punerea în evidenţă a rolului ADN-ului în transformările bacteriene a stimulat studiul acizilor nucleici. Watson şi Crick (1953) au propus un model de structură a ADN-ului care a devenit clasic. Zinder şi Lederberg (1952) au descoperit un mod special de schimb genetic prin intermediul unui bacteriofag care transportă un fragment cromozomial al gazdei în altă bacterie. Acest fenomen, denumit transducţie, a fost observat la diverse microorganisme.

Influenţa genelor asupra naturii şi cantităţii enzimelor elaborate de microorganisme a constituit obiectul studiilor experimentale (Jacob, Perrin, Sanchez, Monod — 1960 etc.).

Conjugarea la o tulpină de *Escherichia coli* a permis deosebirea unor tipuri „donatoare“ de gene şi „receptoare“ de gene; donatoarele, care furnizează doar materialul genetic, sînt considerate masculi; receptoarele, care participă prin citoplasma şi materialul lor genetic la formarea zigotului, sînt femele.

Cele două tipuri de bacterii donatoare, F^+ şi Hfr[12] (Cavalli în Italia, Lederberg în S.U.A., Hayes în Marea Britanie), au factorul sexual F; la F^+ el este extracromozomial, în timp ce la Hfr, el este fixat la extremitatea distală a cromozomului bacterian. Wollman şi Jacob au reuşit să stabilească echivalentul unei hărţi genetice a cromozomului. Factorul sexual F este considerat ca un „episom“, adică o particulă genetică capabilă să existe alternativ în citoplasmă şi în cromozom (F. Jacob şi E.L. Wollman, 1958).

---

[11] Modul de acţiune a genelor va fi prezentat succint în nota anexată la sfîrşitul acestui capitol. Ideea exprimată aici este eronată. — *C.M.*

[12] Hfr *(High frequency)* — linie bacteriană cu mare frecvenţă de recombinare. — *C.M.*

Genetica bacteriofagilor este în plin avînt. A fost analizat (Hershey şi Chase) modul de infecţie şi dezvoltare a fagilor. Bacterii infectate succesiv cu două tipuri de fagi mutanţi au o descendenţă compusă din tipuri înrudite şi din 0,1 pînă la 40% fagi recombinaţi. Lizogenia descrisă iniţial de Bordet şi Ciucă (1921) constituie obiectul unor cercetări recente. După acţiunea lor asupra cromozomilor gazdei, fagii se împart în trei grupe (Lwoff).

Genetica microbiană oferă chemoterapiei o dublă contribuţie: analiza sensibilităţii la antibiotice, deci rezistenţa bacteriilor la aceleaşi antibiotice, şi studiul mecanismului biochimic al acţiunii bactericidelor.

EREDITATEA NECROMOZOMIALĂ. S-a stabilit faptul că genele acţionează cu colaborarea citoplasmei. Hibrizii reciproci proveniţi din încrucişări între subspecii, specii, genuri prezintă diferenţe cu atît mai mari, cu cît părinţii sînt mai îndepărtaţi filogenetic; ei seamănă mai mult cu tipul matern (matroclin). Această deosebire sugerează o diferenţă în constituţia citoplasmelor furnizate de femele.

Cîteva cercetări asupra hibrizilor reciproc diferiţi sînt clasice: cele ale lui F. von Wettstein asupra muşchilor (1924—28) şi cele ale lui Michaelis, Goldschmidt, Kühn, G. Cousin. Ereditatea cancerului la şoareci (Murray şi Little, 1935) dovedeşte acţiunea unor factori necromozomiali de natură incertă: citoplasma, unele substanţe care apar în timpul sarcinii sau al alăptării (Bittner, 1939). În realitate, diferenţele citologice nu se manifestă decît în cazul încrucişărilor între specii, cînd apare fenomenul de incompatibilitate între citoplasmă şi gene.

Anumiţi autori presupun existenţa în citoplasmă a unor elemente analoage genelor din nucleu, plasmagenele, înzestrate cu capacitate de autoreproducere şi de transmitere. Au fost, de asemenea, propuse alte două ipoteze: a echilibrelor fluxului (Monod, Cohen) şi a germenilor sau amorselor. Totuşi, nici una dintre interpretările generale nu oferă o explicaţie satisfăcătoare a faptelor de ereditate necromozomială.

Deoarece aceste fapte sînt destul de rare, cele cîteva cazuri cunoscute au devenit clasice (paramecii „killer“, Sonneborn; drosofile sensibile la anhidrida carbonică, L'Héritier, 1957; deficienţe clorofiliene la plantele verzi, Michaelis, 1954—58 şi la euglene (flagelate verzi), Deken-Grenson, 1960; inhibarea dezvoltării la plantele superioare, Michaelis, Edwardson; mutanţi contagioşi la ciupercile inferioare (Rizet, 1952; Cuzin, 1961); deficienţe respiratorii la o drojdie, Ephrussi, Slonimski, Yotsuyanagi; „ereditate citoplasmică nucleară“ observată în fazele flagelare la salmonele, Lederberg, 1956.

3. Genetica evolutivă

Aparatul genetic este capabil de variaţii bruşte, numite mutaţii, care se traduc prin modificări morfologice, anatomice şi fiziologice. Se deosebesc mutaţiile genice care interesează constituţia unei gene date şi mutaţiile cromozomice care interesează fie aranjarea şi structura intimă a cromozomului, fie numărul de cromozomi.

MUTAŢII GENICE. Numeroasele exemple de mutaţii genice, spontane la diverse specii de nevertebrate, de vertebrate şi vegetale sînt inventariate în multe lucrări. Calculele lui Stadler arată că proporţia de mutaţii ale diverselor gene la porumb este mică; proporţia curentă la drosofilă este de 1/1 000 000.

Deoarece studiul unui fenomen atît de rar este foarte dificil, geneticienii au încercat să reproducă în mod artificial mutaţii. Primele mutaţii experimentale înregistrate în bune condiţii de control au fost obţinute de H.J. Muller (1927), prin acţiunea radiaţiilor X asupra drosofilei.

Proporţia de mutaţii provocate, determinată de Timofeev-Rezovski şi Patterson, s-a dovedit pînă la de 150 de ori mai ridicată decît în liniile martor. Toate radiaţiile ionizante au această proprietate, iar efectele lor au fost precizate calitativ şi cantitativ. Majoritatea radiomutaţiilor sînt letale; unele sînt totuşi viabile şi asemănătoare mutaţiilor spontane. Rezultatele lui Muller au fost rapid extinse la alte specii animale şi vegetale. Explozia bombei atomice experimentale la Bikini (1947) a provocat pînă la 50% mutaţii genice în grăunţele de porumb.

Anumite produse chimice exercită o acţiune mutagenă. Auerbach şi Robson (1949) au demonstrat puternica acţiune a gazului muştar (iperita); de asemenea, sulfamidele (Chevais, Thomas), sulfonele, uretanul, dietilstilbestrolul, fenolul (Hadorn, Niggli) sînt agenţi mutageni activi etc.

MUTAŢII CROMOZOMICE. Prin studii asupra drosofilei, şcoala americană a arătat că modificările structurale ce rezultă din rupturi într-un singur cromozom cuprind inversiuni, deleţii, duplicaţii şi translocaţii simple; rupturile ce intervin în doi cromozomi neomologi produc translocaţii reciproce.

Variaţiile numerice ale cromozomilor includ fuziuni sau rupturi de cromozomi, poliploidii, polisomii, haploidii. Pentru a explica oscilaţiile numerelor diploide de cromozomi în jurul unei valori medii, Robertson a dovedit, încă din 1926, importanţa fenomenelor de fuziune. Din 1937 se cunoaşte metoda de a provoca experimental mutaţii poliploide.

Blakeslee şi Avery au tratat rădăcinile plantelor sau mugurii cu o soluţie de colchicină care perturbă diviziunea celulară determinînd formarea unor celule cu număr dublu de cromozomi; dacă ţesuturile germinale sînt afectate, anomalia este ereditară şi se naşte un tetraploid. Simonet a exploatat această poliploidizare experimentală care produce varietăţi uriaşe şi a creat hibrizi de specii stabile şi fecunde. Alte substanţe provoacă, de asemenea, tetraploidia (feniluretanul, paradiclorobenzenul, camforul, antipirina, acidul indolacetic etc.). La aceste diverse produse chimice celulele animale nu reacţionează deloc. În cazul lor, variaţiile de temperatură par mai eficace.

Într-adevăr, prin răcirea ouălor diverşilor amfibieni: broaşte (J. Rostand), tritoni (Frankhauser şi Griffith, Fischberg, Humphrey) se poate determina apariţia unor indivizi triploizi; încălzirea ouălor produce aceleaşi efecte (Frankhauser şi Watson, 1942). Briggs a realizat în acest mod un tip deosebit de broaşte, şi anume triploide. Pincus, Waddington şi Thibault au obţinut ouă tetraploide de iepure, dar dezvoltarea lor nu a mers pînă la capăt. Beatty şi Fischerg (1949) au realizat embrioni triploizi de şoareci care au supravieţuit aproximativ jumătate din perioada de gestaţie.

Polisomia se caracterizează prin adăugarea la numărul diploid a unuia sau mai multor cromozomi suplimentari.

Blakeslee a observat în 1915 primul mutant polisomic la *Datura stramonium;* el a descris apoi numeroase mutaţii polisomice provenite din dedublarea unui cromozom întreg şi a descoperit dubleţi şi tripleţi trisomici. Polisomia este frecventă la diferite plante, dar mult mai rară la animale (drosofilă etc.)[14].

S-a reuşit inducerea unor mutaţii dirijate la unele organisme monocelulare: caracterele antigenice sau enzimatice ale unei rase A de microb, care se multiplică în contact cu cadavrele rasei B a aceluiaşi microb, se modifică şi iau caracterele celei de-a doua rase (pneumococul: Griffith, 1926, alte cazuri, Weil şi Boivin).

După Beadle, mutaţiile dirijate ar reprezenta „cea mai mare noutate a secolului în materie de genetică". Factorul care induce mutaţia acţionează asupra ADN-ului şi poate fi transferat altor microorganisme (Avery, McLeod şi McCarthy, 1944). Hotchkiss (1954) a arătat că celulele nu se transformă decît într-o anumită fază a dezvoltării. Procentul de transformare este de 1/1 000, în timp ce în cazul rezistenţei la streptomicină, indusă tot prin ADN, acest procent ajunge la 3%. Diverse experienţe permit presupunerea că informaţia generală este conţinută doar într-o anumită porţiune a moleculei (Latarjet, Ephrussi-Taylor, Rebeyrotte).

Adevărate mutaţii dirijate nu par a se fi obţinut pînă în prezent la vertebrate. Se pune întrebarea dacă rezultatele observate în cursul experienţelor lui Benoît, Leroy şi Vendrely (1961) asupra raţelor corespund în realitate unor astfel de mutaţii? Actualmente, nimic nu permite un răspuns afirmativ.

VALOAREA EVOLUTIVĂ A MUTAŢIILOR. Multe dintre mutaţiile genice au efecte nefavorabile: unele sînt letale şi dispar odată cu moartea purtătorilor lor. Cele ce se menţin acţionează asupra unor caractere de importanţă secundară; ele se găsesc adesea la originea raselor de animale domestice şi de plante cultivate: rase geografice, subspecii (Sumner) şi chiar specii. Mutaţiile cromozomiale participă, de asemenea, la apariţia unor forme noi.

Cercetările au fost efectuate mai ales asupra drosofilelor datorită cromozomilor lor uriaşi care uşurează observaţiile (Sturtevant, Dobzansky, White etc.). Au fost necesare 50 şi chiar 100 de rupturi cromozomiale pentru a obţine diferenţierea a trei specii de drosofile, *miranda, pseudoobscura, persimilis,* pornind de la aceeaşi specie.

Unele translocaţii între cromozomii II şi III ai speciei *Drosophila melanogaster* au dus la apariţia unui mutant, *Drosophila artificialis,* obţinut de Goldschmidt, formă echilibrată şi stabilă, sterilă în încrucişările cu *D. melanogaster.* Frecvent la plante *(Oenothera, Datura,* porumb), translocaţiile se găsesc la originea unor specii noi.

Poliploidia şi mai ales tetraploidia au dat naştere unor specii noi: *Primula kewensis* (Coutts), *Digitalis mertonensis* (Bukton, Darlington), varza-ridiche (Karoencenko), *Aegi-*

---

[14] Polisomia nu este rară la animale. Cercetările moderne au demonstrat că frecvenţa indivizilor cu un cromozom suplimentar nu este prea mică. Multe polisomii sînt însă letale şi antrenează moartea intrauterină a purtătorilor. — *C.M.*

lotricum (Tchermak), *Iris* (Simonet), tutunul (Clausen şi Goodsped), *Crepis artificialis* (Babcock). Geneticienii au putut realiza sinteza unor specii naturale: tutun cultivat (Brieger), *Galeopsis tetrahit* (Müntzig), fleola americană (Gregor şi Sansome).

Mutantul nou apărut trebuie să se menţină şi să se multiplice. În acest caz intervin doi factori noi: selecţia şi efectivul populaţiilor. Dar mutantul poate fi eliminat încă de la apariţia sa. Dacă nu este eliminat se formează heterozigoţi iar selecţia începe să funcţioneze, fie imediat, fie după naşterea homozigoţilor, după cum mutaţia este dominantă sau recesivă[15].

Pentru a studia aceste procese, diferiţi geneticieni (L'Héritier şi Teissier, Wright şi Dobzansky, Kalmus etc.) au introdus, în laborator, un mutant dat într-o populaţie artificială de drosofile, în scopul determinării valorii selective a unui genotip în raport cu altul. Fisher, Haldane şi Wright definesc această valoare drept raportul probabilităţilor de supravieţuire în generaţia următoare. Variind condiţiile de creştere, se pot determina efectele concurenţei, temperaturii, umidităţii etc. Experienţe analoage au fost realizate cu păpădia *(Taraxacum officinale)*, la Leningrad.

Populaţiile naturale prezintă trei posibilităţi; după cum mutantul este inferior, egal sau superior tipului normal, el nu convieţuieşte cu acest tip, trăieşte alături de el sau i se substituie.

Curba variaţiei unei populaţii reprezintă suma curbelor fiecărui genotip care o compune; continuitatea sa artificială maschează existenţa unor genotipuri discontinue; studiul valorilor medii permite cunoaşterea curbelor de variabilitate ale diverselor genotipuri. Fisher, Haldane, Wright, Malécot au studiat cantitativ rolul teoretic al factorilor evolutivi: mutaţia, selecţia, efectivul populaţiilor.

Acţiunea selecţiei, rapidă în cazul unei gene cu frecvenţă medie, este mai lentă în cazul genelor cu frecvenţe mici şi mari. Cercetările asupra structurilor genetice ale populaţiilor naturale, animale sau vegetale, sînt foarte delicate. Rezultatele obţinute de Lamotte (1951), cu populaţii de *Cepaea nemoralis*, acordă mutaţiilor un rol esenţial în polimorfismul şi echilibrul coloniilor.

Acţiunea mutaţiei pare mai importantă decît cea a selecţiei, deşi părerea inversă este mai general admisă[16].

4. Genetica umană

Pentru a încheia acest capitol, vom expune principalele rezultate ale geneticii umane ai cărei pionieri au fost Galton, Pearson şi Garrod. Omul reprezintă un material nepotrivit pentru studii (datorită numărului ridicat de cromozomi, absenţei cromozomilor uriaşi, imposibilităţii de a experimenta şi de a dirija încrucişările). Totuşi legile lui Mendel au o acţiune generală şi faptele stabilite la animale permit şi înţelegerea fenomenelor umane; condiţiile patologice ale animalelor şi ale omului sînt adesea foarte asemănătoare. Grüneberg a studiat amănunţit bolile ereditare ale rozătoarelor şi a obţinut indicaţii preţioase pentru specia umană.

---

[15] Structura genetică a unei populaţii poate fi modificată şi de alţi factori. De pildă, o genă recesivă letală — în formă homozigotă — poate atinge frecvenţe mari dacă este avantajoasă în stare heterozigotă. Cel mai concludent exemplu este mutaţia pentru hemoglobina S, care, în formă heterozigotă, oferă un avantaj selectiv faţă de malarie. De asemenea, în populaţiile mici şi izolate frecvenţa unor gene poate creşte prin procese genetice întîmplătoare. — *C.M.*

[16] Momente importante în istoria geneticii populaţiilor au fost marcate de Hardy şi Weinberg (1908) şi de S.S. Cetverikov (1926) — *V.S.*

Datorită cercetărilor lui T. Painter (1923), se considera că omul posedă 48 cromozomi (46 autozomi şi 2 cromozomi de sex). În 1956, Tjio şi Levan, folosind o metodă modernă, au identificat doar 46 cromozomi (44 autozomi şi 2 cromozomi de sex); după discuţii îndelungate, acest număr a fost general admis ca exact.

În funcţie de mărimea sa şi de poziţia centromerului, fiecare cromozom este notat cu un număr, de la 1 la 22. Cromozomii care prezintă asemănări morfologice aparţin aceluiaşi grup. Aşezaţi apoi în perechi în ordinea numerotării, cromozomii constituie cariotipul individului.

Unele cercetări de genetică umană sînt de o actualitate deosebită[17]. Progresele obţinute în studiul sîngelui: morfologia globulelor şi proprietăţile diverselor hemoglobine se găsesc la originea cercetărilor consacrate diferitelor forme de hemopatie (Mac Farlane, Soulier, Bernard etc.), consacrate drepanocitanemiei (Neel, Pauling, Stano, Wells, Bessis), thalasemiei minore şi majore, anomaliei Pelger-Hüet. Grupele sanguine clasice, sistemul Rhesus, grupele sanguine rare constituie obiectul unor analize amănunţite, datorită implicaţiilor lor în medicină, în terapeutică, în medicina legală, în antropologie etc.

Erorile congenitale în metabolismul diverselor substanţe pun în evidenţă lanţurile de reacţii ale genelor şi cauzele care determină numeroase anomalii sau boli ereditare (fenilcetonuria, alcaptonuria, tirozinoza, tulburările tiroidiene, cistinuria, metabolismul perturbat al glicogenului...).

Patologia cromozomilor umani sau bolile cromozomiale, care reprezintă un aspect cu totul recent al geneticii umane, oferă mari perspective.

În 1959, Turpin, Lejeune şi Gautier au pus în evidenţă un cromozom supranumerar la indivizi atinşi de mongolism, o boală descrisă încă din 1866, dar a cărei etiologie rămăsese foarte obscură pînă în ultimul timp. Indivizii cu mongolism au 47 de cromozomi (în loc de 46), cromozomul suplimentar fiind un autozom; este deci vorba de o trizomie care rezultă, probabil, dintr-o neseparare a doi cromozomi omologi în cursul formării gameţilor unuia dintre părinţi. De atunci, au mai fost semnalate şi alte exemple de structuri cromozomiale aberante, care interesează fie autozomii, fie cromozomii de sex (sindromul Klinefelter, caracterizat prin existenţa unui cromozom X suplimentar, Jacobs şi Strong, 1959; sindromul Turner, caracterizat prin absenţa unui cromozom de sex). Erorile în separarea cromozomilor parentali sînt, deci, responsabile de aceste deficienţe sau tare[18].

---

[17] Vezi şi studiul lui R. Debré şi G. Desbuquois (pag.841–843).

[18] Acesta este doar unul dintre mecanisme. Mai puţin frecvent, un alt accident de diviziune celulară are loc după fecundaţie. Ca urmare, rezultă embrioni cu două sau mai multe linii celulare citogenetic deosebite (mozaicuri). — *C.M.*

Acţiunea mediului matern asupra dezvoltării fătului are o mare importanţă. Anumite boli infecţioase sînt în special periculoase: rubeola (Fox, Bortin, 1946), toxoplasmoza, oreionul etc.[19].

Utilizarea anumitor medicamente are uneori urmări dramatice; talidomida reprezintă un astfel de exemplu recent şi foarte dureros (1962). Mecanismul acestor accidente neereditare (fenocopii) este deocamdată necunoscut.

Cercetarea gemenilor permite efectuarea unei distingeri între ceea ce depinde de constituţia genotipică şi de acţiunea mediului: ea aduce o soluţie în problema atît de mult discutată de către cercetătorii anglo-saxoni a rolului eredităţii şi al mediului în geneza individualităţii.

Încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, Galton a iniţiat cercetări sistematice asupra gemenilor. Siemens (1924) a elaborat primele elemente ale acestei metode de studiu. Vaste anchete referitoare la numeroase perechi de gemeni adevăraţi sau falsi au fost efectuate în numeroase ţări (Newman, von Verschuer, Gedda). Naşterile multiple au fost analizate cu multă atenţie, iar cazul celebrelor cvintuple Dionne a stimulat o abundentă literatură (Mc Arthur şi Ford).

În sfîrşit, de cea mai mare actualitate este acum problema mutaţiilor provocate la om, de radiaţii. Probabilitatea de apariţie a unei mutaţii este de 10 ori mai mare la şoareci decît la drosofilă. Dar cum se va comporta omul?

Neel şi Schull au publicat observaţiile efectuate asupra „copiilor bombei", născuţi în Japonia din părinţi iradiaţi.

Abuzul de radiodiagnosticări şi radioterapii a mărit considerabil dozele de radiaţii administrate; statisticile stabilite (Turpin, Lejeune, Rethore, Tanaka, Ohkura) sînt sugestive.

De aceea, multe conferinţe internaţionale sînt consacrate acestei importante probleme (*Internat. Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy*, Geneva, 1958, 1964); *United Nations Sci. Commit. on the Effects of Atomic Radiation*, New York, 1958; *British Council* şi Organizaţia Mondială a Sănătăţii, 1959).

Acumularea produselor de fisiune în alge, în plancton, în peştii migratori reprezintă un real pericol. Peştii migratori pot transporta la mari distanţe elementele radioactive concentrate în organismele lor. Prin numeroşi intermediari, aceste elemente sfîrşesc prin a ajunge în organismul omenesc.

Neliniştea în faţa viitorului a impus stabilirea unor doze maxime admise, exprimate în funcţie de efectul lor biologic în unităţi rem (*R*oentgen-*E*quivalent-*M*an). Astfel, 200 rem reprezintă doza maximă pentru un om: 50 rem cel mult pînă la vîrsta reproducerii şi cîte 50 rem în decursul fiecăruia dintre următoarele trei decenii.

---

[19] Acţiunea teratogenă a taxoplasmozei ca şi cea a oreionului sînt incerte. — *C.M.*

B. EVOLUȚIA

Orice studiu al evoluției îmbracă două aspecte: studiul evoluției propriu-zise și studiul teoriilor care încearcă să explice evoluția.

EVOLUȚIA. DOVEZILE ȘI MODALITĂȚILE EI. Teoria evoluției admite continuitatea lumii vii și derivarea formelor animale și vegetale, unele din celelalte, prin filiație. Diverse dovezi au fost găsite încă din ultimul sfert al secolului al XIX-lea. Noi argumente vor apărea odată cu progresele cercetării, mai ales în domeniile paleontologiei și biochimiei.

Datorită „orologiului“ radioactivității, este posibilă acum evaluarea, cu mare aproximație, a vîrstei Pămîntului și a rocilor care îl compun[20]. Prezența radiocarbonului în toate ființele vii reprezintă „o mașină de explorat timpul trecut“. Izotopii stabili ai carbonului (C^{12} și C^{13}) permit detectarea naturii organice sau minerale a unor resturi fosilifere.

În compușii organici vegetali și animali, raportul C^{12}/C^{13} este de 90,1/92,5%, în timp ce în compușii minerali (inclusiv cochiliile și scoicile) acest raport variază între 88,7 și 89,5%. Rankama a reușit în acest mod să confirme natura organică a unor șisturi arhaice din Finlanda care datează de 1 150 milioane de ani (raportul de 90,2/92% a fost considerat edificator).

Descoperirea unor noi zăcăminte fosilifere a oferit eșantioane prețioase de vertebrate inferioare și a pus în evidență existența unor forme intermediare necunoscute pînă atunci[21]. Asocierea în cadrul acestor forme intermediare a unor caractere mixte între încrengături diferite nu dovedește vreo coincidență, ci o filiație. Aceleași remarci sînt valabile și în cazul plantelor fosile[22].

Serii continue de fosile în sedimente groase se observă în diferite grupe, ca, de exemplu, splendida serie a unui arici-de-mare din genul *Micraster*, studiată de A.W. Rowe în diferitele nivele ale unei faleze cretoase de 150 m înălțime (Margate, Anglia). Aceste fosile, care au evoluat lent, oferă o dovadă elocventă a evoluției.

Paleoneurologia, care se bazează pe studiul mulajelor endocraniene, furnizează de asemenea rezultate prețioase asupra evoluției morfologiei externe a creierului vertebratelor (vezi pag. 740).

Tot atît de convingătoare sînt și dovezile furnizate de embriologie. Persistența stadiilor ancestrale permite precizarea poziției sistematice a grupelor mai greu de identificat.

Rizocefalii, profund modificați de parazitism, pot fi recunoscuți după stadiile lor larvare. Parazitismul, care modifică puternic adulții, nu exercită nici o acțiune asupra fazelor larvare. Asemănările embrionare nu sînt fortuite; embriogenia *Amphioxus*-ului (procordat) este de același tip cu cea a vertebratelor.

---

[20] Vezi studiul lui R. Furon (pag. 509–510).

[21] Vezi studiul lui J. Piveteau (pag. 739–742).

[22] Vezi studiul lui J.F. Leroy (pag. 785–786).

Imensele progrese ale biochimiei confirmă o serie de afinităţi între diversele domenii ale ştiinţei care lasă să se întrevadă conturarea unei noi ştiinţe, biochimia comparată.

Kutcher (1914) a stabilit prezenţa creatinei în muşchii vertebratelor şi a argininei în cei ai nevertebratelor. D. şi J. Needham (1932) au precizat faptul că amfioxul conţine creatină ca şi vertebratele, în timp ce ascidiile conţin arginină, ca şi nevertebratele. M. Florkin (1944) a stabilit o adevărată diagnoză chimică a vertebratelor; el a descris unele ortogeneze biochimice; de jos în sus în ierarhia zoologică, conţinutul în diverse substanţe (proteine, zaharuri...) creşte sau scade. Catabolismul ureei dovedeşte o evoluţie în seria animalelor corespunzînd unor pierderi succesive de diverse enzime care se dispun după o „ortogeneză biochimică regresivă“ şi ireversibilă. Metoda aglutinărilor dovedeşte afinităţi reale; Nuttall a demonstrat în acest mod legăturile de rudenie dintre *Limulus* şi arachnide, a căror morfologie diferă în mare măsură. Numeroase cercetări biochimice au precizat legăturile dintre animale şi plante[23].

Protistologii şi microbiologii au observat o evoluţie fiziologică, ce a fost generalizată de L. Lwoff (1943).

Ea se caracterizează prin pierderi succesive ale funcţiei sau puterii de degradare. Organismele cele mai primitive sînt capabile să realizeze sinteza componenţilor lor chimici; apoi, treptat, capacitatea de sinteză se pierde. Teoria pierderii funcţiilor respective este poate valabilă la evoluţia paraziţilor.

Multitudinea de dovezi demonstrează realitatea evoluţiei, singura care poate oferi o înţelegere a lumii organice. Din această cauză, cei care neagă evoluţia, fie că o resping brutal, fie că admit o evoluţie parţială, au fost şi sînt din ce în ce mai rari (L. Vialleton, P. Lemoine, L. Bounoure). Nici o observaţie şi nici o experienţă nu se opune principiului evoluţionist.

S-a încercat să se precizeze modalităţile evoluţiei; au fost propuse anumite reguli: legea complexităţii crescătoare, legea lui Cope (formele arhaice sînt sintetice), legea releurilor, legea creşterii dimensiunilor, legea lui Dollo sau a ireversibilităţii evoluţiei regresive. Aceste legi nu prezintă o rigurozitate matematică şi au fost semnalate şi unele excepţii[24]. Totuşi, studiile seriilor evolutive orientate (ortogeneze) au devenit clasice.

Vom cita ortogenezele ecvidelor, ale titanoterelor (Osborn), ale camelidelor, ale proboscidienilor (Osborn). Mecanismul ortogenezelor a rămas aproape necunoscut. Încercarea lui Huxley de a da o explicaţie în legătură cu creşterea alometrică nu este satisfăcătoare; în realitate, realizarea unui tip armonios şi specializat necesită o coordonare a coeficienţilor de creştere; aceste diverse coordonări reprezintă o dificultate majoră[25].

---

[23] În ultimul deceniu, s-a dezvoltat nu numai taxonomia biochimică, sau biochimia comparată, ci şi o nouă concepţie despre rolul mutaţiilor în evoluţie, fundamentată pe cercetări de biologie moleculară. Macromoleculele de acizi nucleici şi proteine sînt considerate „molecule informaţionale“ sau (L. Pauling şi Zuckerkandl) *semantide*. Compararea naturii şi secvenţei aminoacizilor în moleculele de hemoglobină, hormoni proteici, citocromi etc. a dus la concluzii care completează sau nuanţează cele obţinute prin metodele clasice ale morfologiei. —*V.S.*

[24] B. Rensch a stabilit şi alte legi cu caracter corelaţionist sau ecologic, legi cu valabilitatea statistică (acesta este sensul în care trebuie să interpretăm „excepţiile“). — *V.S.*

S-a încercat evaluarea vitezei evoluţiei. Osborn evaluează la 20 milioane de ani timpul necesar apariţiei celui de-al treilea molar la mastodonţii trilofodonţi, adică al formării a 30 de tubercule[26]. Haldane a propus (1949) o unitate de evoluţie, *darwin*-ul, care este însă puţin folosită[27].

Cercetările paleontologice din ultimele decenii au contribuit în mare măsură la o mai bună cunoaştere a vertebratelor fosile străvechi. Necunoscute în precambrian (Schindewoff, 1956), toate filumurile, inclusiv cel al cordatelor (J. Brough, 1958), sînt reprezentate începînd din cambrian. Primele vertebrate cunoscute, ca şi primele nevertebrate, nu sînt forme primitive.

TEORIILE EXPLICATIVE ALE EVOLUŢIEI. Două mari teorii explicative ale evoluţiei, larmarckismul şi darvinismul, datează din secolul al XIX-lea. În ciuda numeroaselor critici pe care şi le-a atras, neolamarckismul a cunoscut la începutul secolului al XX-lea un mare succes, cel puţin în Franţa, unde Giard, E. Perrier, Bonnier, Le Dantéc, Constantin, Houssey au fost apărătorii săi cei mai cunoscuţi. Dar neereditatea caracterelor dobîndite este în contradicţie evidentă cu lamarckismul.

P. Kammerer de la Viena pretinde că a pus în evidenţă ereditatea caracterelor dobîndite la broasca-mamoş (1909). După vii discuţii, Bateson (1923) nu a ezitat să afirme despre Kammerer că „a corectat Natura“. În 1926, G.K. Noble, care a reuşit să examineze la microscop pretinsele calozităţi digitale dobîndite, a publicat un articol care denunţa frauda. Peste cîteva săptămîni, sinuciderea lui Kammerer a fost considerată drept o mărturisire a vinovăţiei[28].

Adoptarea oficială a lamarckismului de către guvernul sovietic, încă din 1929, explică răspîndirea largă a miciurinismului şi doctrinei lui Lîsenko.

Lîsenko şi şcoala sa au realizat hibrizi de altoi pentru a demonstra că „substanţele plastice“ care circulă de la portaltoi la altoi şi viceversa pot transforma ereditar altoiul sau portaltoiul într-un tip mai mult sau mai puţin intermediar; rezultă o influenţă a secreţiilor altoiului asupra celulelor germinale ale portaltoiului care se concretizează prin transmiterea de caractere de formă şi culoare la descendenţii portaltoiului; prin urmare, caracterele dobîndite de altoi se pot transmite ereditar[29].

---

[25] Existenţa ortogenezelor este explicată (acolo unde se confirmă) prin ortoselecţie — *V.S.*

[26] După consideraţiile de biologie moleculară evoluţionistă, o mutaţie importantă pentru funcţia unei enzime (sau a unei alte molecule active, ca hemoglobina) se înscrie cam la 1—3 milioane de ani odată. — *V.S.*

[27] În prezent, viteza de evoluţie şi momentul în care s-au desprins două specii dintr-un strămoş comun pot fi deduse din studiul comparat al structurii proteinelor homoloage. Două specii îndepărtate filogenetic se deosebesc printr-un număr mai mare de aminoacizi, deci printr-un număr mai mare de mutaţii, decît două specii care s-au separat de curînd. Presupunînd că substituirea unui aminoacid cu altul reclamă un anumit număr de ani (de generaţii), se poate calcula momentul apariţiei unei specii date. — *C.M.*

[28] Se pare că însuşi Kammerer a fost indus în eroare de colaboratori. — *V.S.*

Aceste pretinse rezultate obţinute au suscitat numeroase critici; s-a vorbit chiar de „un război al geneticienilor".

Un alt argument invocat de lamarckişti este cel după care anumite caractere structurale a căror geneză nu este încă cunoscută şi-ar găsi o explicaţie simplă în ereditatea unor caractere a căror origine ar fi utilizarea sau neutilizarea (calozităţile cămilei, struţului, facocerului; curbura abdomenului la paguri...).

Lamarckismul a reapărut odată cu ipoteza, preconizată de Wintrebert, a unui lamarckism chimic; formulată în 1949, această concepţie a fost dezvoltată ulterior (*Le vivant, créateur de son évolution*, 1962).

Mecanismul variaţiei ereditare este copiat după cel al imunizării; gena, considerată drept un anticorp fixat pe cromozom, constituie o reacţie de apărare la acţiunea unui mediu perturbator. „Gena nu este factorul eredităţii, ci instrumentul protoplasmei în ereditate". Adăugarea de gene, adică de răspunsuri adaptative, determină evoluţia speciei.

Această teorie nu a primit pînă acum nici o confirmare experimentală. Dealtfel, evoluţia pare greu de imaginat în totalitatea sa ca o însuşire de răspunsuri la atacuri locale.

Spre sfîrşitul secolului al XIX-lea, darvinismul a fost modificat de ultradarvinişti (Wallace şi Weismann) care acceptă explicaţiile lui Darwin, cu excepţia eredităţii caracterelor dobîndite, considerînd că selecţia este singurul factor evolutiv.

Prin 1900, o nouă teorie, mutaţionismul, realizează cea de-a doua transformare a darvinismului; aceasta este un fel de darvinism care neagă ereditatea caracterelor dobîndite şi omnipotenţa selecţiei naturale.

Mutaţionismul se bazează pe noţiunea de variaţie discontinuă sau de mutaţie, propusă de H. de Vries (este interesant faptul că noţiunea de mutaţie, bazată pe studiul diferitelor specii de *Oenothera*, reprezintă o interpretare eronată a unor fapte exacte). Redescoperirea legilor eredităţii arată cum ar avea loc transmiterea şi combinarea mutaţiilor pentru a duce la formarea de tipuri noi. Mutaţionismul respinge ereditatea caracterelor dobîndite prin somă şi admite efectul unei selecţii conservatoare de tip mediu.

O ipoteză nouă, preconizată în 1902 de L. Cuénot, preadaptarea, se încadrează în mutaţionism; ea poate fi considerată ca un aspect deosebit al selecţiei.

Pentru Cuénot, preadaptarea corespunde unor caractere indiferente sau semiutile care apar la o specie, susceptibile de a deveni adaptări evidente dacă specia adoptă un mod de viaţă nou, sau dobîndeşte obiceiuri noi, adică schimbări devenite posibile tocmai datorită existenţei acestor preadaptări". Deformarea acestei ipoteze în sensul predestinării este cu totul eronată: prefixul „pre" semnifică doar anterioritatea, adică o preadaptare precede o adaptare.

---

[29] De fapt, experienţele de hibridare vegetativă aparţin lui I.V. Miciurin. T.D. Lîsenko a negat rolul deosebit al cromozomilor în ereditate, a vorbit indistinct de „materia vie" cu contradicţii motrice realizate prin procesul de fecundaţie, a insistat unilateral asupra laturii asimilatorii din procesul de metabolism etc. Combaterea „administrativă" a poziţiilor adverse (reprezentate prin geneticieni sovietici de mare prestigiu, ca Dubinin, Smallhausen, Timofeev-Rezovski etc.) a durat peste zece ani, începînd cu 1948. O critică ştiinţifică şi filozofică a teoriei lîsenkiene a *vitalităţii* a fost realizată, în România, de I. Peatniţchi (1969). — *V.S.*

Mutaţionismul implică anumite fapte bine stabilite şi explică, într-o oarecare măsură, microevoluţia, adică schimbările evolutive dintr-o populaţie, precum şi formarea şi izolarea noilor specii. Multe fenomene rămîn totuşi neexplicate, de exemplu apariţia marilor grupe, adaptările, ortogenezele etc.

În primele trei decenii ale secolului al XX-lea au apărut numeroase mici teorii care încearcă să explice evoluţia, cu un succes mai mult sau mai puţin efemer, şi din care nu a rămas mare lucru: psiholamarckismul lui Pauly (1905), entelechia lui Driesch, concepţia organismică a lui von Bertalanffy (1928)[30], holismul lui Smuts (1916), nomogeneza lui L.S. Berg (1922), ologeneza lui D. Rosa (1909), aristogeneza lui Osborn, apogeneza lui H. Przibram (1929), alelogeneza lui A. Labbé (1924) etc.

Diverse cercetări, iniţiate prin 1920, au abordat studiul teoretic şi experimental al evoluţiei; ele stau la baza unei noi teorii a evoluţiei, teoria sintetică, la modă mai ales în ţările anglo-saxone; americanul G.G. Simpson este unul dintre cei mai remarcabili reprezentanţi ai ei. Această teorie corespunde unui fel de neodarvinism perfecţionat, sinteză între tezele neodarviniste şi cele mutaţioniste.

Adaptarea reprezintă factorul de orientare al evoluţiei. Această orientare evolutivă rezultă dintr-o interacţiune între structura genetică, ce reglează mecanismele dezvoltării, şi selecţia naturală, care serveşte drept ghid. Mutaţiile furnizează posibilităţi, în timp ce selecţia determină calea. Caracterul esenţial al evoluţiei este oportunismul: tot ceea ce este susceptibil de a se întîmpla se întîmplă. Preadaptarea constituie un mecanism al teoriei sintetice; dar selecţia exercită o acţiune decisivă în utilizarea structurii preadaptive. „Preadaptarea şi postadaptarea sînt fazele unui proces unic în care selecţia joacă un rol de condiţionare".

Selecţia, studiată în mod special, a făcut obiectul unor analize matematice care definesc deriva genetică (Wright), presiunea mutaţiei, presiunea selecţiei sau coeficientul de selecţie. Fisher (1930), S. Wright (1931), Haldane (1932) au calculat efectul coeficientului de selecţie asupra evoluţiei, în funcţie de proporţiile de mutaţie şi dimensiunile populaţiilor. Selecţia conservatoare şi selecţia inovatoare, care păreau opuse, apar ca două moduri de acţiune simultane, capabile să transforme structurile genetice ale unei populaţii. În acest mod se poate explica formarea raselor geografice şi chiar a unor specii noi (Mayr, J. Huxley, Teissier). Baldwin (1902) a definit o selecţie organică sau paralelă, noţiune care a fost reînnoită de Hovasse (1946).

Teoria sintetică nu furnizează însă o explicaţie evident satisfăcătoare a tuturor faptelor observate.

---

[30] Plecînd de la concepţia sa organismică, L.v. Bertalanffy a dezvoltat (începînd din 1942) teoria organismului ca „sistem deschis"; prin generalizare, în ultimii 25 de ani, acest autor (care a predat mai întîi la Viena, iar apoi în S.U.A.) a întemeiat *teoria generală a sistemelor* care joacă un rol important în gîndirea ştiinţifică contemporană. La noi în ţară, aplicaţii ale teoriei generale a sistemelor biologice se găsesc în lucrările recente ale lui N. Botnariuc, V. Săhleanu etc. — *V.S.*

Cum ar putea fi explicată adaptarea independent de evoluţie? Cum ar putea fi explicată geneza coaptaţiei (Cuénot) şi a instrumentelor ei (Cuénot şi Tétry) formate prin ajustarea reciprocă a două părţi fără legătură între ele? Cum ar putea fi concepută geneza unor organe complicate, inclusiv cea a creierului omenesc, prin jocul mutaţiilor întîmplătoare? Organele complexe prezintă elemente noi, coordonări noi, o arhitectură şi o organizare diferite. Mutaţia evolutivă, pentru a fi eficace, trebuie să se ajusteze după mutaţia precedentă şi să se producă exact în punctul dat. Dar marile acţiuni pleiotropice sînt incapabile să explice legăturile şi coordonările caracteristice oricărui organism viu[31].

Incertitudinile doctrinelor evoluţioniste şi mai ales „teoria prea rigidă şi prea simplistă pe care o prezintă J. Huxley, Dobzansky, Simpson şi alţii, sub denumirea nepotrivită de teorie sintetică“, au fost expuse de P.P. Grassé. Kälin consideră teoria sintetică drept o „euforie sintetică“. Chiar unii susţinători din şcoala anglo-saxonă (Waddington) semnalează unele dificultăţi şi formulează obiecţii.

Ca şi celelalte teorii anterioare, teoria sintetică oferă explicaţii parţiale ale unor probleme speciale, dar nu dă nici o explicaţie a evoluţiei în întregime. Încercări de explicare au mai fost făcute pe baza mutaţiilor sintetice ale lui R.G. Goldschmidt şi a ontomutaţiilor lui A. Dalcq[32].

Primele, care provoacă variaţii simultane a numeroase gene, ar sta la originea speciilor noi. Celelalte ar reprezenta transformări subite, profunde, radicale şi viabile, care apar în citoplasma oului; ele ar determina o alterare gravă a mecanismelor dezvoltării şi ar participa, poate, la apariţia marilor grupe şi deci la macroevoluţie.

Biologii germani au propus teorii care se bazează pe noţiunea de tip; ei admit existenţa unor morfotipuri sau planuri de organizare distincte.

Teoria lui Heberer (1954) propune o evoluţie care transformă progresiv un tip în alt tip, cu forme intermediare. Modificări care acţionează succesiv asupra mai multor caractere mici ar duce în final la o structură nouă; evoluţia ar fi deci aditivă. Teoria lui Schindewolf (1960) concepe o evoluţie autonomă, caracterizată prin transformarea bruscă a unui tip în altul; această discontinuitate suprimă existenţa formelor intermediare. Transformările s-ar datora acţiunii unor factori interni.

În prezent trebuie recunoscut, cu toată obiectivitatea, că nici o teorie nu oferă o explicaţie satisfăcătoare a mecanismelor evoluţiei. Apariţia marilor unităţi taxonomice, a adaptărilor reprezintă dificultăţi majore, a căror importanţă ar fi în zadar să o ascundem.

■

Notă. După descoperirea metodelor care au permis studiul direct al cromozomilor, a devenit evident că anomaliile cromozomiale sînt extrem de frecvente: 0,5—1% dintre toţi nou-născuţii sînt purtătorii unei aberaţii oarecare, cu consecinţe clinice importante.

---

[31] Nu se ţine seama de rolul recombinării. — *C.M.*

[32] Noţiunea de *ontomutaţie* este înrudită cu cea de *mutaţie ontologică*, elaborată de L. Blaga (1947). De remarcat că mutaţiile de care se vorbeşte în teoria sintetică a evoluţiei corespund la ceea ce s-a descris la pag. 717; ele sînt altceva decît marile „salturi bruşte“ imaginate de H. de Vries, R. Goldschmidt sau A. Dalcq. — *V.S.*

Dintre noile sindroame descoperite, sindromul 47 XYY (prezenţa unui cromozom Y suplimentar) a generat cele mai numeroase discuţii. S-a afirmat că purtătorii acestei anomalii au tulburări de comportament mai des decît populaţia cu cromozomi normali. Afirmaţia a pornit de la faptul că printre delincvenţii cu înălţime mare, înapoiaţi mintal, internaţi în institute speciale, frecvenţa bărbaţilor YY este semnificativ mai mare decît cea observată printre nou-născuţi. Concluzia nu este totuşi acceptată fără rezerve. S-a văzut apoi că cel puţin 25% dintre embrionii avortaţi spontan au o aberaţie cromozomială. Printre embrionii eliminaţi în primele două luni incidenţa ajunge la 70%.

În 1971, Casperson a pus la punct o metodă relativ simplă pentru identificarea cromozomului Y, în celulele din mucoasa bucală. Prin aceeaşi metodă se poate pune diagnosticul de sex al embrionului (în celule din lichidul amniotic).

În acest caz nu mai este nevoie de folosirea altor metode mult mai complexe şi pline de riscuri atît pentru mamă, cît şi pentru embrion. Tot în citogenetică s-au găsit metode care permit punerea în evidenţă a benzilor cromozomiale. Fiecare cromozom are un număr specific de benzi. Cu ajutorul lor se va studia mai bine relaţia dintre cromozomi şi patologie şi, pe alt plan, rolul cromozomilor în evoluţie.

Ereditatea legată de cromozomul X a pus de mult o întrebare care părea fără răspuns. Deoarece o femeie are doi cromozomi X şi bărbatul numai unul singur, în mod teoretic ea ar trebui să aibă o cantitate dublă de enzime — condiţionate, bineînţeles, de genele situate pe acest cromozom. Dacă fenomenul nu este evident, atunci există un mecanism care asigură o doză egală la cele două sexe. Într-adevăr, determinările făcute au arătat că bărbaţii şi femeile au aceeaşi cantitate de enzime.

Explicaţia a adus-o Mary Lyon. Ea a ajuns la concluzia că organismele au nevoie de un singur X. Ca atare, unul dintre ei se inactivează la începutul embriogenezei şi formează cromatina sexuală — formaţie prezentă numai la indivizii cu doi cromozomi de sex X. Inactivarea are un caracter întîmplător. După inactivare, toate celulele-fiice vor avea acelaşi cromozom activ. Acest fenomen explică, printre altele, prezenţa aşa-numitului corpuscul Barr (cromatina sexuală) şi a particularităţilor nucleului leucocitar la femei.

Numărul bolilor ereditare cunoscute a crescut substanţial. Pînă în prezent s-au descoperit aproximativ 2 000. Cele mai interesante sînt erorile de metabolism înnăscute — boli în care a fost identificată tulburarea biochimică primară. Dacă ritmul descoperirilor rămîne cel de acum, atunci se vor descoperi în următoarele cîteva decenii cel puţin 10 000 de boli ereditare.

S-a demonstrat că cel puţin 4% dintre toţi nou-născuţii sînt purtătorii unei tulburări genetice sau parţial genetice care se va manifesta cîndva în cursul vieţii. Dacă se iau în consideraţie şi bolile care implică un coeficient genetic relativ mic, atunci frecvenţa ajunge la 13%.

A devenit posibilă detectarea prenatală a anomaliilor cromozomiale şi a unui număr destul de mare de erori de metabolism. De asemenea, pot fi descoperiţi numeroşi heterozigoţi pentru o mutaţie recesivă. Profilaxia bolilor ereditare poate porni de la fapte certe.

A făcut progrese şi tratamentul bolilor ereditare. Au fost sintetizate gene şi administrate unor copii cu boli ereditare. S-au pus în circulaţie alimente care nu conţin anumiţi aminoacizi. Cu un asemenea regim alimentar, copiii cu o tulburare gravă se pot dezvolta normal.

S-a conturat ca o nouă ramură farmacogenetica, ştiinţa care studiază răspunsul organismelor la medicamente. Ea a demonstrat că unele dintre accidentele grave care apar în urma unor tratamente medicamentoase sînt consecinţa unei deficienţe enzimatice. Imunogenetica a realizat un impresionant salt. S-a demonstrat că toţi anticorpii aparţin unui grup de proteine serice numite imunoglobuline şi că există mai multe clase de imunoglobuline. Toate au însă o structură similară, care a fost descifrată. Se ştie de asemenea, că activitatea anticorpilor este specificată de locul de legare al antigenilor.

Formarea anticorpilor este mai puţin certă. Se admite, în general, teoria selecţiei clonale (M. Burnet).

Cu toate acestea, realizările imunogeneticii sînt încă insuficiente pentru a asigura succesul transplantelor. Numeroase cercetări au arătat că numărul substanţelor mutagene prezente în mediul înconjurător este deosebit de mare şi continuă să crească. Nu-i mai puţin adevărat însă că acţiunea lor mutagenă a fost demonstrată îndeosebi în condiţii experimentale. Ca atare, este greu de spus dacă sînt sau nu mutagene şi la om. După toate probabilităţile, numai un grup mic de substanţe, printre care compuşii nitroşi şi peroxizii, au efecte mutagene la om.

Problema consecinţelor mutagene ale radiaţiilor ionizate a fost revizuită. Se admite că în prezent, datorită ameliorării mijloacelor de protecţie, iradierile medicale nu mai sînt un pericol real.

Cercetări cu totul remarcabile au dus la elucidarea structurii genei.

Conceptul de genă a suferit cîteva remanieri importante. În prezent se vorbeşte din ce în ce mai mult de unităţi genetice şi din ce în ce mai puţin de gene, deşi termenul este corect. Astfel, unitatea de funcţie este *cistronul*, format din mai multe mii de nucleotide. El este cel care, prin intermediul ARNm, asigură sinteza unui lanţ polipeptidic specific. *Repliconul* este unitatea de replicare, iar *mutonul*, unitatea de mutaţie.

După toate probabilităţile, la toate organismele există grupări de cistroni — sisteme policistronice.

În 1961, F. Jacob şi J. Monod intuiesc existenţa genelor reglatoare. Numai existenţa unor asemenea formaţii ar putea explica activitatea genelor structurale. Genele reglatoare sintetizează o proteină numită represor, prin intermediul căreia controlează cantitatea de proteine sintetizate. Represorul a fost descoperit de echipele conduse de Guilbert şi Ptashné de la Universitatea Harvard.

Împreună cu gena reglatoare şi cu produsul său de sinteză — represorul — alcătuiesc un *operon*, după numele propus de Jacob şi Monod în 1965. Represorul acţionează asupra genei operatoare (sau regiune operatoare).

Apoi s-au deosebit două tipuri de operoni, sistemele inductibile — sinteza enzimelor este indusă de un stimul din mediul exterior şi sistemele represibile — sinteza enzimelor este blocată de o moleculă.

Unul dintre cele mai importante evenimente ale ultimilor ani a fost fotografierea unui fragment de ADN care, după toate probabilităţile, corespunde operonului lactoză la *Escherichia coli* (Beckwith şi Shapiro, 1969).

Cele mai importante realizări aparţin geneticii moleculare. După ce Watson şi Crick au demonstrat că ADN are o structură dublu-elicoidală, complementară, descifrarea codului genetic şi a sintezei proteinelor a reprezentat un al doilea pas spectaculos. Genetica fiziologică, aşa cum este considerată şi în volumul de faţă, devine genetică moleculară, iar ereditatea, după cum remarca J.M. Rober, un fapt biochimic. Este adevărat că biochimia eredităţii are unele particularităţi care amintesc mai curînd de problematica comunicaţiilor şi a transmiterii mesajelor (Gomov) decît de cea a metabolismului sau a biociberneticii. ADN are capacitatea de a se replica, asigură informaţia necesară sintezei proteinelor şi suferă mutaţii. Replicarea este complementară (Watson), semiconservatoare (Meselson şi Stahl, 1958), autoreglată, autoreparabilă (Flanders), represibilă artificial. ADN comandă sinteza proteinelor — specifice pentru specie, individ, organ etc.

Sinteza proteinelor începe odată cu transcripţia mesajului genetic. Se formează o moleculă de ARN mesager a cărui existenţă a fost intuită de F. Jacob şi J. Monod şi descoperită la bacterii de Gros. Ulterior, ea a fost descoperită în celulele mamiferelor de Korner şi Munro. ARN mesager transportă informaţia genetică la nivelul ribozomilor. Sinteza ARN-ului începe într-un punct bine definit de pe secvenţa de ARN, numit *sit promotor*. Citirea lanţului de ADN se opreşte în alt punct. Oprirea este controlată de o proteină specifică, factorul rho, descoperit în 1970 de către J. W. Roberts. Apoi ARN trece prin porii membranei nucleocitoplasmatici în citoplasmă, unde are loc traducerea mesajului genetic. Rezultatul va fi o proteină specifică. Sinteza proteinei reclamă participarea riguroasă a mai multor factori. Etapele sintezei sînt bine cunoscute. Structura proteinei, mai exact ordinea aminoacizilor care formează lanţul sau lanţurile polipeptidice, este condiţionată de succesiunea nucleotidelor. Trei nucleotide formează un triplet sau codon. Fiecare triplet condiţionează poziţia specifică a unui aminoacid în secvenţa polipeptidică.

Graţie lucrărilor lui Kornberg, Ochoa etc., codul genetic a fost descifrat.

CODUL GENETIC (EXPRIMAT ÎN TERMENI ŞI ARN)

Prima nucleotidă	*A doua nucleotidă*				*A treia nucleotidă*
U	Phe	Ser	Tir	Cis	U
	Phe	Ser	Tir	Cis	C
	Leu	Ser	Oprire?	Oprire?	A
	Leu	Ser	Oprire?	Tri	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lis	Arg	A
	Met	Thr	Lis	Arg	G
	Val	Ala	Asp	Gle	U
	Val	Ala	Asp	Gle	C
	Val	Ala	Glu	Gle	A
	Val	Ala	Glu	Gle	G

În citoplasmă codonul ARNm se fixează pe un ribozom. În celulele eucariotelor, pe faţa externă a reticulului endoplasmatic se găsesc ribozomii sau, în terminologia mai veche, corpusculii lui Palade. Ei sînt formaţi din unirea mai multor subunităţi cu constante de sedimentare diferită. Aceste subunităţi conţin un tip special de ARN, numit ARN ribozomal. ARN mesager se leagă de 4—5 ribozomi. Complexul astfel format se numeşte polisom.

Aminoacizii sînt culeşi din citoplasmă de ARN de transfer (ARNt). Se pare că are o formă de treflă şi că poartă în vîrf o secvenţă de trei baze — anticodon. Fiecare aminoacid — în total sînt 20 — poate fi transportat de unul sau mai multe tipuri de ARNt. Ajuns la nivelul polisomilor, va fixa aminoacidul în locul specificat de ARNm. Sinteza lanţului polipeptidic se face în trei etape; de iniţiere, de alungire şi terminare. Traducerea mesajului poate fi inhibată de mai mulţi factori. S-au pus la punct mai multe metode: localizarea genelor pe cromozomi (hărţile cromozomiale): 1) citogenetice — studierea unor caractere condiţionate monogenic la bolnavi cu deleţiuni, translocaţii, trizomii; 2) hibridizarea celulară — fuzionarea celulelor somatice generează hibrizi intra sau interspecifici, care pierd cromozomi în timpul diviziunii. Se cercetează relaţia dintre pierderea unui caracter biochimic şi eliminarea specifică a unui cromozom; 3) hibridizarea in situ a acizilor nucleici — stabilirea locului de pe un cromozom în care se fixează un anumit tip de ARNm. Cu ajutorul acestor metode, s-au localizat cîteva zeci de gene. De pildă, gena pentru lanţul α al hemoglobinei se găseşte pe cromozomul 2, iar genele pentru lanţurile β, γ, δ al hemoglobinei pe un cromozom B; factorul Hageman (XII) este controlat de o genă situată pe braţele lungi ale cromozomului 7.

S-au precizat şi cîteva grupe genice în *linkage* pe cromozomul 1, 13, X şi pe un cromozom B. Pe cromozomul X sînt cunoscute două asemenea grupe. Pe acelaşi cromozom sînt răspîndite genele care intervin în gonadogeneză.

MUTAŢIA. S-a stabilit rata de mutaţie a unor gene. Prin rată de mutaţie se înţelege numărul de mutaţii pentru o genă specifică în cursul unei diviziuni celulare. Rata de mutaţie nu este aceeaşi pentru toate genele. Se cunosc gene cu o rată de mutaţie mare şi gene cu o rată de mutaţie mică. Astfel, la bacteriofag rata medie de mutaţie este $1—10^{-6}$ (o mutaţie la un milion de diviziuni). La organismele cu reproducere sexuată rata de mutaţie se calculează pe gamet. La drosofilă, rata de mutaţie medie este similară celei de la bacteriofag. Dar unele mutaţii sînt extrem de rare: $1—10^{-9}$.

La om, rata de mutaţie a fost calculată pentru cîteva dintre genele cu transmitere dominantă care condiţionează tulburări ereditare bine definite.

Şi mai spectaculoase au fost cercetările care au dus la înţelegerea mutaţiei la nivel molecular. Astfel, o bază din lanţul de ADN poate fi înlocuită cu altă bază (o bază purinică cu una pirimidinică, de pildă). Rezultatul va fi substituirea unui aminoacid în lanţul polipeptidic. Alteori poate să aibă loc o inversiune a unui triplet, o deleţie — pierderea unei perechi de nucleotide — sau inserţia unei perechi de nucleotide. Toate au acelaşi rezultat; alterarea structurii produsului sintetizat. Se cunosc şi alte tipuri de mutaţii.

Lista factorilor mutageni a crescut considerabil şi s-au creat noi metode de cercetare. Studiul evoluţiei a trecut de la nivel morfologic la nivel cromozomial şi biochimic. A început să se vorbească despre evoluţia fină a cromozomilor şi a genelor.

Evoluţia moleculară a devenit sesizabilă, după descifrarea structurii primare a unor proteine. Prin compararea proteinelor provenite de la specii diferite se poate aprecia gradul de înrudire filogenetică. Se deosebesc două feluri de proteine: omoloage, cu o structură mai mult sau mai puţin similară, controlate însă de gene cu origine comună, şi analoage, cu origini diferite, dar cu aceeaşi funcţie. Numai primele pot da informaţii asupra evoluţiei, deoarece, este evident, toţi membrii unei populaţii au aceeaşi proteină, iar două specii sînt cu atît mai apropiate, cu cît au un număr mai mare de aminoacizi comuni. Evoluţia s-a făcut îndeosebi prin substituire de aminoacizi. Înlocuirea unui singur aminoacid constituie unitatea de evoluţie. Mai rar, evoluţia s-a făcut prin modificarea lungimii lanţului polipeptidic. Frecvenţa substituirilor a variat de la o proteină la alta. Astfel, citocromul C, unul dintre pigmenţii respiratori prezenţi în mitocondrii, există în toate organismele, de la drojdia de bere la om. Este constituit în aproape toate speciile din 104 aminoacizi. Dintre aceştia, 34 par să nu fi suferit nici o modificare de-a lungul filogenezei. Citocromul C a evoluat deci foarte lent. Analizînd numărul de substituiri care deosebesc marile grupe taxonomice, Margoleash a ajuns la concluzia că ciupercile s-au desprins ca linie evolutivă acum 1,1 miliarde de ani, iar ramificarea vertebratelor şi nevertebratelor s-a petrecut în urmă cu 600 de milioane de ani.

Evoluţia hemoglobinei este şi ea bine înţeleasă, la fel ca şi cea a imunoglobulinelor, a grupelor sanguine, a unor hormoni etc.

Datorită acestor studii s-a conchis că evoluţia genelor s-a realizat frecvent prin duplicare. Duplicarea unei gene a însemnat apariţia a două lanţuri polipeptidice. După aceea, fiecare a evoluat independent, aşa cum s-a întîmplat, de pildă, cu lanţurile polipeptidice ale hemoglobinei.

Mai rar, genele au evoluat prin fuzionare. Cu toate acestea există un contrast evident între evoluţia fenotipică şi cea moleculară şi, aşa cum subliniau King şi Wilson (1975), cele două procese par să fie parţial cel puţin independente. Pentru a explica acest fenomen s-a sugerat că diversitatea speciilor ar fi condiţionată în primul rînd de modificări ale sistemului regulator. Mutaţiile genice care antrenează substituiri de aminoacizi au jucat un rol relativ minor în marile transformări adaptative. Afirmaţia pleacă de la faptul că distanţa genetică între om şi cimpanzeu este extrem de mică, asemănătoare cu cea dintre două specii surori. Apoi, aşa cum menţionam mai înainte, evoluţia poate fi studiată şi la nivel cromozomial. Pînă acum se puteau studia numai modificările numerice şi structurale evidente. În urma descoperirii unor metode relativ simple, s-a demonstrat că toţi cromozomii sînt constituiţi din benzi, probabil agregate de gene, şi că numărul şi dispoziţia lor variază de la o specie la alta. Analiza comparată a acestor benzi la marile maimuţe şi la om a confirmat încă o dată că cimpanzeul este, şi sub raport citogenetic, „ruda“ noastră cea mai apropiată.

Acelaşi tip de cercetări a arătat că unii dintre cromozomii umani sînt foarte vechi, iar alţii au apărut relativ recent. Cromozomul de sex X, de pildă, pare să se fi individualizat de mult timp şi să fi suferit puţine modificări. În orice caz, cromozomii au evoluat mult mai mult decît s-a crezut. Cele mai frecvente modificări au fost duplicaţiile şi inversiunile.

Pe plan teoretic, evoluţionismul s-a îmbogăţit cu o teorie excepţional de importantă, şi anume cu teoria evoluţiei nedarviniste a lui Kimura. Teoria sintetică modernă admite că imensa majoritate a caracterelor speciilor sînt rezultatul mutaţiilor şi al selecţiei naturale. O mutaţie nu se poate fixa decît dacă oferă purtătorilor un avantaj selectiv. Mutaţiile neutre sînt rare, dacă cumva există.

Kimura nu contestă importanţa selecţiei naturale. El demonstrează însă, pe baza unor fapte concludente, că evoluţia se poate face şi prin fixarea întîmplătoare a unor gene neutre selectiv.

El a analizat, printre altele, polimorfismele, existenţa într-o populaţie oarecare a două alele, într-o asemenea frecvenţă, încît cea mai rară nu poate fi menţinută numai prin mutaţii recurente.

Mai exact, cînd cea mai rară alelă depăşeşte 1%, există un polimorfism. S-a crezut că polimorfismele se pot menţine, deoarece fiecare dintre alele este avantajoasă în anumite circumstanţe mezologice. Pentru un număr de polimorfisme, explicaţia este corectă. Kimura nu neagă în totalitate această explicaţie. El pleacă însă de la premisa că numărul polimorfismelor este foarte mare şi că de cele mai multe ori a fost imposibil să se demonstreze avantajul selectiv al purtătorilor. După părerea lui, multe polimorfisme sînt neutre, fiind consecinţa proceselor genetice întîmplătoare. Polimorfismele ar fi, aşadar, doar o fază a evoluţiei genelor.

În sprijinul teoriei sale, el a adus numeroase alte argumente. Întîmplarea pare să fi jucat, astfel, un rol major în evoluţie. Noua teorie ar putea lămuri unele dintre aspectele neclare ale evoluţiei care nu puteau fi explicate numai de teoria sintetică. — *C.M.*[33]

*

În România, darvinismul a avut un mare ecou încă din primul deceniu care a urmat publicării *Originii speciilor*, fiind adoptat nu numai de către biologi şi geologi, ci şi de către filozofi (ca Vasile Conta, 1873), mai ales de către gînditorii care au militat pentru progresul social şi pentru socialism. Ca atare, darvinismul a jucat un mare rol în lupta dintre materialism şi idealism, cea mai cunoscută polemică ştiinţifică fiind aceea (de la începutul secolului al XX-lea) dintre parazitologul N. Leon şi fiziologul-medic N.C. Paulescu. Darvinismul a fost o teorie călăuzitoare în cercetările de bacteriologie ale lui V. Babeş (încă din 1885), de imunologie comparată ale lui I. Cantacuzino şi de speologie ale lui E. Racoviţă. E. Racoviţă a introdus conceptul de acritogeneză pentru variaţiile nedefinite, cel de *secluziune* pentru mecanismele de izolare ale organismului faţă de mediu şi a considerat fauna peşterilor drept ilustrativă pentru principiile evoluţiei prin adaptare. Lucrarea sa bioteoretică despre procesul evoluţiei (1929) are influenţe lamarckiste puternice. O aderenţă la punctul de vedere lamarckist se vădeşte şi în lucrările altor biologi români de prestigiu, ca E. Botezat şi Gr. Antipa. E. Botezat a încercat o sinteză între ecologie şi etologie, în timp ce Gr. Antipa a realizat sinteza între darvinism şi ecologie (în cadrul hidrobiologiei, mai ales). Contribuţii interesante teoretice a adus C.F. Jickeli (1902), după care variabilitatea lumii organice decurge din imperfecţiunea organismului, cataboliţii liberi acţionînd ca toxine ce provoacă transformări ereditare. Amintim şi lucrările evoluţioniste, pornite de la studiul lepidopterelor, ale lui Aristide Caradja. Printre evoluţioniştii români care au pus accentul pe influenţele mediului mai cităm pe paleontologul Gr. Ştefănescu (1905), pe zootehnicianul N. Filip (1909), zoologul I. Borcea (1910), agronomul C. Sandu-Aldea (1915). Evoluţioniştii perioadei interbelice numără, printre ei, nume binecunoscute în zoologie (D. Voinov, C. Motaş, R. Codreanu), în botanică (Tr. Săvulescu);

---

[33] Recent, în genetica evolutivă se face distincţie între mutaţiile care afectează genele structurale şi cele care afectează genele reglatoare. Prin influenţarea genelor reglatoare (de exemplu, în urma rearanjării lor în cromozomi) se pot obţine însemnate deosebiri anatomice la minime diferenţe între ADN. — *V.S.*

C.I. Parhon a susținut rolul hormonilor în filogeneză. În același timp au fost elaborate doctrine evoluționiste în gîndirea filozofică românească (A.D. Xenopol, C. Rădulescu-Motru, P.P. Negulescu, E. Speranția, L. Blaga, M. Ralea, Camil Petrescu). În perioada postbelică evoluționismul a fost expus și dezvoltat corespunzător în lucrări de morfologie (Gh. Dornescu, O. Necrasov, I. Th. Riga), fiziologie (E.A. Pora, C. Wittenberger), biologie teoretică (V. Preda, B. Stugren, N. Botnariuc, V. Săhleanu), genetică (M. Șerban, C. Maximilian, P. Raicu); studii de istorie a evoluționismului în România se datoresc lui Emil Pop, S. Ghiță, V. Mârza, N. Botnariuc.

Genetica s-a dezvoltat, cu ponderi diferite de la deceniu la deceniu, în agrozootehnie, în medicină și ca cercetare fundamentală. În agronomie s-au pus în valoare contribuțiile lui Gh. Ionescu-Șișești, N. Ceapoiu, R. Palocsay, N. Giosan, Al. Priadcencu, A. Lazányi, I. Drăcea ș.a. În zootehnie s-au ilustrat G.K. Constantinescu, N. Teodorescu și, mai recent, V. Gligor, St. Oprescu, C. Zolyneak etc. În genetica medicală — impulsionată în perioada interbelică de Gh. Marinescu, C.I. Parhon, Gh. Stroescu și Al. Caratzali — s-au înscris contribuțiile clinice ale școlii lui Șt. Milcu (C. Maximilian, B. Ionescu, Marta Ciovîrnache), cele de genetică moleculară ale lui I. Moraru, Șt. Antohi și ale virusologilor (R. Portocală, N. Cajal etc.). Ereditatea diabetului a fost studiată de I. Pavel și R. Pieptea. Citogenetica vegetală a fost domeniul predilect al unor cercetători ca V. Ghimpu, A. Vlădescu, I. Tarnavschi, P. Raicu etc. Citogenetica animală a fost adîncită, în ultima vreme, de P. Bănărescu, M. Nachtigal. Genetica actuală are conexiuni tot mai strînse cu domenii variate industriale (biofermentații, antibiotice), fiziologice (imunologia — I. Moraru), cu oncologia (O. Costăchel, I. Chiricuță), endocrinologia, medicina legală, antropologia etc. — *V.S.*

CAPITOLUL V

Anatomia comparată și paleontologia vertebratelor

A. ANATOMIA COMPARATĂ

Fără a forța prea mult faptele, vom putea regăsi în cercetările de anatomie comparată din perioada contemporană cele două curente pe care le-am văzut apărînd în secolul trecut prin E. Geoffroy Saint-Hilaire și adepții teoriilor segmentare, pe de o parte, și prin G. Cuvier și partizanii principiului corelațiilor, pe de alta.

Anatomistul englez Goodrich (1868—1946) este partizanul primei tendințe. Printre aspectele cele mai importante ale operei sale vom reține cercetările asupra segmentării și omologiei.

El a prezentat puncte de vedere pătrunzătoare asupra teoriei vertebrale, sau mai bine zis segmentare, a craniului, care au reînnoit problema; el a precizat noțiunea de omologie. Organele a doi indivizi vor fi omoloage nu pentru că aparțin aceluiași segment, ci numai dacă pot fi raportate la părți corespondente ale unui strămoș comun. De altfel, există și gradații în omologie; omologia a două organe este completă cînd toate părțile lor derivă din părți corespunzătoare ale unui strămoș comun.

Opera capitală a lui Goodrich este lucrarea sa *Studies on the structure and development of Vertebrates* (1930), în care sînt abordate, într-un spirit profund original, marile probleme ale morfologiei. Această carte a fost și rămîne călăuza indispensabilă a oricărui cercetător ce lucrează în acest domeniu.

În Franța, opera lui Louis Vialleton (1868—1930) apare într-un mod cu totul diferit. Ea reprezintă, într-un anumit fel, o reîntoarcere la Cuvier.

După Vialleton, legea corelației este de o importanță capitală în morfologie; ea constituie cheia organizării. Singurul mijloc de a înțelege organismul este de a-l considera ca un ansamblu ale cărui părți sînt toate corelate. O astfel de metodă a urmat el în lucrarea sa, *Membres et ceintures des Vertébrés tétrapodes. Critique morphologique du Transformisme* (1923).

Vom mai cita, de asemenea, un anumit număr de lucrări care, fără a aborda vreo problemă majoră de anatomie comparată, studiază un aparat sau un organ la un grup mai mult sau mai puțin important de vertebrate: cercetările olandezilor van Kampen asupra regiunii optice la mamifere, ale lui Ariens Kappers asupra sistemului nervos; ale francezilor J. Anthony *(Morphologie externe du cerveau des Singes Platyrhiniens*, Paris, 1947) și R. Anthony cu A. de Santa-Maria, asupra sistematizării encefalului mamiferelor; ale elvețianului J. Kälin privind anatomia crocodilienilor şi primatelor etc. Anatomia comparată foloseşte adesea metodele embriologiei şi histologiei. Numeroase lucrări vor trebui deci menţionate în acest context. Nu vom reţine însă decît importantele studii ale lui Sir Gavin de Beer asupra dezvoltării craniului[1].

B. AVÎNTUL PALEONTOLOGIEI VERTEBRATELOR

FRANŢA. În Franţa, în domeniul paleontologiei vertebratelor, trebuie menţionate două nume deosebit de importante: Marcellin Boule şi Charles Depéret.

M. Boule (1861—1941), elev şi succesor al lui Gaudry la catedra de paleontologie de la Muzeul de istorie naturală, a încercat să menţină cu fidelitate şi îndeaproape tradiţia maestrului său. Contribuţia sa la paleontologia vertebratelor este reprezentată mai ales prin studiile asupra mamiferelor cuaternare. Partea cea mai originală a operei sale se află însă în cercetările de paleontologie umană şi de preistorie.

Ch. Depéret (1854—1920) a fost, de asemenea, elevul lui Gaudry, de care însă s-a separat rapid. El s-a ridicat împotriva „sintezelor premature“ (aluzie la cele efectuate de Gaudry), care nu ţin seama îndeajuns de datele cronologice, avînd drept rezultat stabilirea unor filiaţii artificiale ce fac să derive unele din altele o serie de genuri, nelegate genealogic între ele. Depéret a insistat asupra încetinelii transformărilor evolutive şi a încercat reconstituirea precisă a ramurilor filetice. El a scos în evidenţă confuzia ce se face adesea între „evoluţia reală a unui grup natural de animale fosile şi ceea ce nu reprezintă efectiv decît evoluţia funcţională a unui organ într-o serie de genuri ce aparţin unor ramuri naturale diferite, fără nici o legătură directă de rudenie între ele“.

Tot lui Depéret i se datoresc o serie de lucrări importante asupra mamiferelor terţiare din Franţa, precum şi o serie de note originale asupra problemei migraţiilor şi sincronismelor zăcămintelor paleontologice din întreaga lume.

ELVEŢIA. H.G. Stehlin (1870—1941), elev al lui Rütimeyer, este una dintre figurile cele mai remarcabile ale paleontologiei contemporane. El a făcut din Muzeul din Basel unul dintre centrele principale ale lumii în paleontologia mamiferelor. Efectuînd săpături în principalele zăcăminte ale Europei, Stehlin a strîns o documentaţie foarte completă asupra istoriei perisodactilelor şi a artiodactilelor, precum şi asupra unui mare număr de alte grupe de mamifere.

Opera sa fundamentală, publicată între 1903 şi 1916, în *Mémoires de la Société paléontologique suisse*, poartă titlul foarte modest: *Mamiferele din eocenul elveţian. Catalog critic al materialelor*. De fapt, nu este vorba deloc de o simplă enumerare descriptivă, ci de o încercare de filogenie, şi încă una dintre cele mai ample ce au fost întreprinse vreodată pentru toate mamiferele ongulate, precum şi de un studiu în timp şi spaţiu al diverselor lor ramuri.

---

[1] În România, studiile de morfologie descriptivă şi comparată a vertebratelor au fost întemeiate de P. Bujor, la Iaşi, şi D. Voinov, la Bucureşti. În domeniul anatomiei peştilor au lucrat I. Borcea, V. Radu (iar, mai recent, P. Bănărescu, G. Hasan). Lucrări variate de anatomie comparată au înscris, în ultimele decenii, G.T. Dornescu la Bucureşti şi Olga Necrasov la Iaşi. Nu pot fi uitate contribuţiile lui I.G. Botez, imediat după primul război mondial, referitoare la scheletul primatelor. În anatomia comparată a animalelor domestice sînt cunoscute lucrările ample ale lui V. Gheţie şi I.Th. Riga. — *V.S.*

Reconstituirea migraţiilor l-a condus la comparaţii între faunele terţiare ale Europei şi ale Americii de Nord şi totodată la evidenţierea caracteristicilor evolutive ale craniului şi dinţilor.

Spre sfîrşitul vieţii, Stehlin şi-a îndreptat atenţia asupra epocii cuaternare. O importantă lucrare, *La Grotte de Cotencher, station moustérienne*, elaborată împreună cu A. Dubois, conţine rezultate deosebit de importante asupra evoluţiei faunelor şi asupra variaţiilor climatice care au avut loc în ultima epocă din istoria Pămîntului.

R.F. GERMANIA şi R.D.G. În aceste ţări, paleontologia vertebratelor a constituit mai ales obiectul unor studii cu caracter descriptiv. F. von Huene a publicat un foarte mare număr de note şi memorii asupra diverselor grupe de reptile; Broili este autorul unor interesante lucrări asupra reptilelor zburătoare şi asupra reptilelor din Karroo; M. Schlosser a descris fauna de mamifere din Europa şi cea din Egipt.

BELGIA. Lucrările lui L. Dollo (1851—1931) au pus într-o lumină vie paleontologia vertebratelor. Cercetările sale asupra peştilor din era paleozoică; reconstituirea dinozaurienilor (Bernissart), ale căror schelete formează ansamblul cel mai spectaculos de la Institutul Regal al Belgiei; studiile sale asupra crocodilienilor şi chelonienilor, remarcabile prin stilul lor concis, plin de formule lapidare, reprezintă o contribuţie majoră la istoria vertebratelor inferioare.

Dar Dollo este şi un teoretician, şi anume unul dintre cei care au proclamat cel mai clar legea ireversibilităţii evoluţiei, denumită adeseori „legea lui Dollo".

Această lege se aplică oriunde există ereditate. Din momentul în care un tip de vieţuitoare îşi imprimă în structura sa urmele fiecărei faze pe care le-a străbătut, îi este imposibil, prin construcţia sa, să revină exact la stările prin care a trecut. Ireversibilitatea nu implică ortogeneza, care se exprimă printr-o serie de transformări ce se efectuează rectiliniu, desfăşurîndu-se oarecum într-un sens determinat. Desigur, fără legea ireversibilităţii, paleontologia ar fi incapabilă să descurce iţele complexe ale formelor dispărute.

ANGLIA. Marea tradiţie a lui Owen şi Huxley a continuat în perioada contemporană în Anglia. Ch. Andrews (1866—1924) a descris marile reptile din mările jurasice, iar cercetările sale asupra faunei mamiferelor, descoperite în apropiere de Cairo, în zăcămintele de la Fayum, i-au permis să umple parţial golul ce separă astăzi proboscidienii de celelalte ordine de mamifere cu copite. Astăzi ştim cum au dobîndit trompă; cum şi-au transformat şi complicat dinţii pentru a deveni în cele din urmă elefanţi.

A. Smith-Woodward (1864—1944) a fost unul dintre maeştrii paleoihtiologiei. Catalogul său de peşti fosili de la *British Museum of Natural History* rămîne o lucrare fundamentală.

Trebuie, de asemenea, să cităm numele lui D.M.S. Watson. Dar cum influenţa sa asupra evoluţiei paleontologiei moderne rămîne deosebit de vie şi profundă, vom vorbi despre opera lui mai pe larg cu ocazia prezentării tendinţelor actuale ale acestei ştiinţe.

U.R.S.S. Între publicarea lucrărilor lui Kovalevski şi perioada contemporană, marcată de o bogată activitate, nu vom cita în Rusia decît numele Mariei Pavlov, autoare a numeroase articole asupra mamiferelor terţiare din Rusia. Precizînd poziţia filogenetică a hiparionului, ea a adus o importantă contribuţie la istoria paleontologică a calului.

AMERICA. Opera lui H.F. Osborn (1857—1935) ocupă un loc important. Osborn a publicat lucrări asupra paleontologiei generale, asupra istoriei şi metodelor ei. El a stabilit o clasificare a reptilelor fosile, care constituie punctul de plecare al concepţiilor noastre moderne asupra structurii filogenetice a acestui mare grup de vertebrate; a descris numeroase forme de reptile marine şi de reptile terestre din grupul dinozaurienilor. Reluînd, modificînd şi precizînd unele puncte de vedere ale lui Cope, el a dat un viu impuls studiilor odontologice şi a propus o teorie generală a dentiţiei; în sfîrşit, a consacrat istoriei paleontologice a mamiferelor numeroase memorii care au continuat şi au completat opera lui Marsh şi Cope.

Originea mamiferelor, prima lor dezvoltare în era secundară, marea lor dezvoltare din era terţiară, precum şi descrierea unei mulţimi de tipuri noi au format pentru Osborn obiectul unui mare număr de memorii. El a reconstituit mai ales istoria paleontologică a cailor, rinocerilor, titanoteroidelor, a proboscidienilor etc. A prezentat studii interesante asupra principiilor evoluţiei. Acestea s-ar caracteriza prin fenomenul variaţiei într-un sens definit, pe care l-a numit aristogeneză. Osborn înclină spre o explicaţie vitalistă a fenomenului.

Osborn s-a interesat şi de problema originii umane, coordonînd şi sintetizînd descoperirile efectuate în Lumea Veche. Activitatea sa prezintă un dublu aspect, ştiinţific şi social, pe care M. Boule l-a evidenţiat clar. Într-adevăr, nu se poate neglija rolul jucat de Osborn în organizarea Muzeului de istorie naturală din New York şi în prezentarea sa didactică şi nici rolul pe care l-a avut în organizarea unor mari expediţii ştiinţifice de explorare şi de săpături (de exemplu, în Mongolia).

De la începutul acestui secol, paleontologia vertebratelor a strălucit în America de Nord, în modul cel mai intens. W.D. Matthew este, fără îndoială, unul dintre paleontologii care au cunoscut cel mai profund mamiferele terţiare. Numeroasele sale memorii sînt adevărate modele de descriere şi de interpretare pentru toţi cei care studiază aceste grupe de vertebrate.

În toate cercetările sale, W.K. Gregory a legat strîns paleontologia vertebratelor de anatomia comparată; el a abordat într-un spirit original numeroase aspecte ale problemei evoluţiei[2].

---

[2] În România, paleontologia a fost ilustrată, în perioada interbelică, de I. Simionescu (personalitate complexă, de o mare diversitate creatoare), I. Popescu-Voiteşti ş.a. Ea s-a dezvoltat mai curînd ca o ramură a geologiei decît ca o ramură a biologiei — fiind considerată ca atare şi de paleontologii actuali (ca Miltiade Filipescu). — *V.S.*

C. TENDINŢE ACTUALE ALE PALEONTOLOGIEI VERTEBRATELOR

SĂPĂTURI. Nu se poate să nu fim impresionaţi de dezvoltarea actuală a cercetărilor în domeniul paleontologiei vertebratelor. Alături de lucrările de laborator, săpăturile sînt efectuate în mod activ în numeroase ţări, dintre care unele fuseseră pînă de curînd neglijate. În felul acesta s-au obţinut rezultate noi, neaşteptate pentru ştiinţă.

Paleontologii francezi iau parte activă la această mişcare. În ultimii ani au fost efectuate săpături sistematice în regiunile Parisului, Aquitaine şi ale Masivului Central. Cercetările au fost extinse şi în insula Madagascar (Rep. Malgaşă), furnizînd numeroase documente noi asupra istoriei vertebratelor în epoca permian-triasică şi în Africa Centrală.

O serie de descoperiri senzaţionale efectuate în Anglia au permis lămurirea problemei originii mamiferelor. În R.F. Germania, trebuie citate săpăturile metodice ale lui H. Tobien în stratele terţiare ale bazinului Rinului din apropierea oraşului Mainz.

Sub impulsul unui strălucit paleontolog, M. Crusafont Pairo, Peninsula Iberică, şi mai ales Catalonia sînt pe cale să devină un teren preferat pentru istoria mamiferelor terţiare. Săpăturile efectuate în Angola şi în Portugalia au furnizat materialul unor interesante lucrări ale lui C. Teixeira şi G. Zbyzewski.

În R.S.F. Iugoslavia au fost efectuate importante cercetări în zăcămintele pontiene. Paleontologii sovietici continuă explorarea zăcămintelor de la sfîrşitul erei paleozoice, iar descoperirile lor au permis să se confere o mare continuitate istorică reptilelor precursoare ale mamiferelor; ei au extins cercetările lor în Mongolia, unde au fost precedaţi de marile expediţii americane (1918 — 25).

Rezultate de cea mai mare importanţă au fost obţinute de expediţiile norvegiene, daneze şi suedeze în Groenlanda; acestea au scos în evidenţă, după 1920, fosile care au elucidat problema trecerii de la viaţa acvatică la cea terestră a vertebratelor.

America de Nord rămîne însă terenul privilegiat pentru studiul mamiferelor terţiare. În ultimii ani însă, săpăturile continuate în zăcămintele de la începutul erei terţiare sînt cele care au adus cele mai importante rezultate.

În America de Sud trebuie amintite importantele cercetări ale lui G.H. Simpson în stratele terţiare din Patagonia.

În sudul Africii, imensa formaţie naturală din Karroo cuprinde multe specimene dintr-un grup curios de reptile, dintre care unele au evoluat transformîndu-se în mamifere. Owen a fost unul dintre primii care le-a făcut conoscute, dar lucrările care au permis reconstituirea liniilor mari ale istoriei lor au fost mai ales cele ale lui R. Broom şi D.M.S. Watson.

REZULTATE MAI IMPORTANTE. Paleontologia vertebratelor se leagă mai clar decît oricînd, prin metodele şi obiectul său, de domeniul ştiinţelor biologice, regăsindu-şi calea deschisă de fondatorul ei, G. Cuvier. Frumoasa carte a lui D.M.S Watson, *Palaeontology and modern Biology* (1951), atît de bogată în idei noi şi originale, este o mărturie decisivă a acestei evoluţii. Chiar şi în domeniul cercetării, asocierea dintre paleontologia vertebratelor şi anatomia comparată devine din ce în ce mai strînsă şi nu se mai poate concepe ca paleontologul să nu fie în primul rînd un anatomist.

Această legătură se manifestă cu cea mai mare forţă mai ales în studiul vertebratelor inferioare. Lucrările lui E. Stensiö din Stockholm asupra vertebratelor primitive, ostracodermelor şi artrodirelor reprezintă modele de reconstituiri anatomice, în care autorul, bazîndu-se pe legile analogiei şi ale principiului corelaţiilor, reuşeşte să stabilească, cu cea mai mare probabilitate, organe sau ansambluri de organe pe care fosilizarea le-a făcut să dispară, ca aparatul circulator, sistemul nervos etc.

Aceleaşi remarci se potrivesc şi lucrărilor lui D.M.S. Watson asupra artrodirelor, paleoniscidelor, amfibienilor şi reptilelor, precum şi lucrărilor lui E. Jarvik asupra crosopterigienilor. În acelaşi spirit şi cu aceleaşi metode, A.S. Romer studiază reptilele permiene din America de Nord; B. Peyer şi E. Kuhn-Schnyder, pe cele din triasicul Tessinului (Europa); J.A. Efremov, amfibienii şi reptilele paleozoice din U.R.S.S.; J.A. Orlov, deinocefalele; E.H. Colbert, reptilele dinozauriene. Paleontologia franceză participă la această mişcare: deosebit de importante din acest punct de vedere sînt cercetările lui J. Millot şi J. Anthony asupra genului *Coelacanthus* şi ale lui J.P. Lehman asupra vertebratelor devoniene din Groenlanda şi a celor triasice din insula Madagascar.

Astăzi sînt explorate domenii ce păreau inaccesibile paleontologului. Studiul encefalului, de exemplu, bazat pe cercetarea mulajelor endocraniene, a permis stabilirea liniilor generale ale fenomenului de cerebralizare. Astfel a luat naştere o ştiinţă nouă: paleoneurologia (T. Edinger, 1948; C. Déchaseaux, 1962).

Totodată, marile probleme ale anatomiei comparate au fost astfel reînnoite, aceasta permiţînd abordarea lor sub o nouă formă: originea maxilarelor, condiţiile structurii generale a craniului, originea membrelor etc. şi multe alte probleme cărora începem să le întrevedem soluţia, datorită paleontologiei.

În esenţă, teoria evoluţiei constă în afirmaţia că vieţuitoarele au între ele legături istorice. Nimic nu poate fi înţeles fără considerarea mediului înconjurător şi a antecedentelor. Astfel, devine posibil să se afirme, doar la simpla examinare a unei vieţuitoare, care este ansamblul pregătitor de etape evolutive care i-a precedat în mod obligatoriu apariţia; de aici rezultă că un exemplar unic poate dezvălui o întreagă istorie.

Vom vedea cum, datorită anatomiei comparate şi paleontologiei, se pun bazele unei ştiinţe noi, a unei adevărate ştiinţe a formelor.

Un exemplu luat din lucrările recente, şi care a mai fost menţionat pe scurt (J. Piveteau, *Essai sur l'origine et l'évolution des Amphibiens Anoures*, în „Annales de Paléontologie", 1937), va lămuri aceste consideraţii. Există în natura actuală un grup de vertebrate cu caractere deosebite: anurele (broaştele). Structura lor, analizată în lumina anatomiei comparate, sugerează faptul că ele ar trebui să aparţină unui grup de amfibieni din era primară, stegocefalii; totodată permite să se deducă aproximativ caracterele formelor intermediare şi să se stabilească faptul că ele trebuie să fi existat încă de la începutul erei secundare. Cercetările efectuate în stratele din această perioadă au dus la descoperirea, în Madagascar, a unei fosile care corespunde „prezicerilor" anatomiei comparate şi care constituie una dintre verigile ce lipseau între stegocefalii paleozoici şi anurele actuale. Astfel de exemple se pot multiplica şi ele dovedesc, după cum a afirmat P. de Saint-Seine, că „fosilele vin în întîmpinarea calculului".

Cuvier considera, încă din vremea sa, fosilele drept experienţe ale naturii. Acum putem afirma (dacă definim experienţa ca un mijloc de a verifica o ipoteză) că paleontologia, sprijinită de anatomia comparată, poate fi considerată o ştiinţă experimentală.

Analiza amănunţită a diverselor grupuri de vertebrate, efectuată de paleontologi, a arătat că acestea se pot descompune în segmente ramificate şi divergente, denumite filumuri. Studiul acestora, adică al structurii lor, al legăturilor şi al distribuţiei lor în biosferă, devine de asemenea o componentă esenţială a cercetării paleontologice. Iar din acest punct de vedere, grupul mamiferelor este cel care a constituit obiectul celor mai riguroase cercetări. Este suficient să cităm lucrările clasice ale lui G.G. Simpson, care privesc aproape toate grupele de mamifere; cele ale lui P. Teilhard de Chardin asupra carnivorelor; ale lui S. Schaub asupra rozătoarelor etc. Multe alte nume ar putea fi adăugate la această succintă enumerare. Aceste cercetări tind a transforma domeniul fileticii într-o prelungire a geneticii.

Pentru motive uşor de înţeles, grupul primatelor constituie din ce în ce mai mult obiectul unor cercetări aprofundate, ceea ce ne permite să observăm mai bine acum fizionomia ramificaţiilor. Deosebit de active în această direcţie sînt două centre de cercetări: cel din Elveţia, reprezentat de J. Hürzeler şi J. Kälin, ale căror lucrări, cu implicaţii în problema originii omului, au modificat profund cunoştinţele noastre, şi cel din Anglia, reprezentat de Sir Wilfrid Le Gros Clark, care a adus date fundamentale asupra evoluţiei primatelor şi omului[3].

■

Este natural ca între paleontologi să apară divergenţe cînd este vorba de interpretarea filozofică a acestor aspecte ale vieţii.

Se poate oare stabili o direcţie a acestei evoluţii? Există o ortogeneză? Această concepţie a unei dezvoltări oarecum dirijate a fost viu criticată de anumiţi paleontologi şi mai ales de G.G. Simpson, H.E. Wood etc. Ea a fost însă apărată de alţii, printre care îndeosebi de P. Teilhard de Chardin:

---

[3] Cu privire la dezvoltarea recentă a paleontologiei primatelor, sînt de subliniat cîteva aspecte. Un material deosebit de bogat a fost scos la lumină prin săpăturile efectuate în Africa Centrală. Rezultatele lor au împins departe data probabilă de desprindere a hominidelor din trunchiul primatelor, poate în terţiarul mijlociu, cu 15—25 milioane de ani în urmă, înainte ca aceste primate să fi dat naştere la animale adaptate locomoţiei arboricole (brachiatori) (Heberer, 1968), deci, se pare că în miocen sau chiar în oligocen. O formă de mare însemnătate filogenetică, printre aceşti strămoşi, o reprezintă *Dryopithecus (Proconsul) africanus*, şi în general, driopitecinele din pliocen. După Simons (1961), o formă imediat anterioară, din care s-au diferenţiat strămoşii respectivi ai lui *Homo*, *Pan* şi *Gorilia* (deci diverse specii de driopitecine), a fost *Aegyptopithecus zeuxis*, din miocen. Forma *Ramapithecus*, situată pe ramura prehominidelor, descoperită în nordul Indiei (1935), are afinităţi cu fosilele africane descrise sub numele de *Kenyapithecus* (Leakey); este situată în pliocen (acum 10—12 milioane de ani) şi pare a fi folosit „unelte" naturale sau puţin modificate *(tool-user*, dar nu *tool-maker)*. — *V.S.*

> „Ce importanţă are, scrie el, dacă genealogia ecvidelor are, în reprezentările noastre, structura unui fascicul cu ramuri mai mult sau mai puţin scurte şi discontinue, în loc să mai fie reprezentată, ca în trecut, doar prin două sau trei linii? Din moment ce, dincolo de aceste ramuri, fasciculul continuă să existe, prelungindu-se în linii mari de la tipul *Hyracotherium* la tipul *Equus*, înseamnă că ortogeneza (fie ea denumită *trend* — tendinţă — sau *orto*-selecţie) continuă să funcţioneze.
>
> Cînd se studiază istoria evolutivă a grupurilor, ceea ce domină în final nu este dispersarea, ci canalizarea formelor.

Paleontologii nu au abordat mereu problema cauzalităţilor evolutive, care au fost întotdeauna luate în discuţie independent de paleontologie. G.G. Simpson, împreună cu mulţi alţii, dealtfel, a subliniat faptul că o teorie a evoluţiei nu ar fi valabilă decît dacă ar îngloba şi rezultatele paleontologiei. Iar în lucrarea sa, *Tempo and mode in evolution*, el a încercat să efectueze această sinteză între rezultatele geneticii şi cele ale ştiinţei fosilelor. Indiferent de meritele sale, acest efort nu a fost urmat de o recunoaştere unanimă. El constă în extinderea rezultatelor microevoluţiei, adică ale evoluţiei la nivelul speciei, la macroevoluţie (sau chiar megaevoluţie), adică la întreaga desfăşurare a istoriei vieţii. Indispoziţia anumitor paleontologi faţă de astfel de sinteze se datoreşte dificultăţilor ce survin şi care sînt perfect analizate de Fr. Meyer în lucrarea sa, *Problématique de l'évolution*. Acestora li se pare greu să admită „că ceea ce apare dintr-un anumit punct de vedere drept o succesiune aleatoare de cauzalităţi poate avea, la o altă scară, o semnificaţie de un alt ordin". Studiul fenomenului paleontologic ne introduce într-un ordin de mărime diferit de cel al transformărilor specifice[4].

De aceea, paleontologului care meditează la toate aceste teorii, în care punctul de plecare îl constituie problema „originii speciilor", şi nu reuşeşte în încercările de a le transpune pe un plan mai familiar, i se întîmplă adesea să-şi pună întrebarea dacă, aşa cum spune J. Perrin, un concept nu-şi pierde semnificaţia atunci cînd ne îndepărtăm din ce în ce mai mult de condiţiile în care a fost formulat.

---

[4] Ceea ce au realizat autori ca G.G. Simpson, Th. Dobzhansky, S. Huxley, E. Mayr etc. este „teoria sintetică a evoluţiei", care depăşeşte însă sinteza geneticii şi a paleontologiei, înglobînd şi date de morfologie şi fiziologie comparată, ecologie, embriologie — iar în ultima vreme, de exemplu, şi rezultatele biologiei moleculare. — *V.S.*

CAPITOLUL VI

Preistoria[1]

În secolul al XX-lea, metodele preistoriei se precizează, ceea ce ne permite să urmărim dezvoltarea omenirii sub diversele sale aspecte: geologice (perioadele glaciare și interglaciare, aluviuni marine și fluviatile, depozite în peșteri etc.), paleontologice (oameni, flore și faune fosile) și arheologice (culturi umane).

După retipărirea lucrărilor *La Préhistoire* și *Mussée préhistorique* ale lui G. și A. de Mortillet, a apărut *Le Manuel d'archeologie préhistorique, celtique et gallo-romaine*, al lui J. Déchelette (vol. I, 1910), iar în 1921, remarcabila operă *Les hommes fossiles* a lui Marcellin Boule, care a fost reeditată de mai multe ori. Numeroase manuale de preistorie generală văd lumina zilei; astfel, în Franța apar cele ale lui J. de Morgan (1921), G. Goury (1927), Capitan (1931), urmate de o serie de alte lucrări și tratate mai tehnice și atlasuri.

În același timp, numeroase descoperiri sînt publicate în revistele de specialitate, ca: „L'Anthropologie" și „Bulletin de la Société préhistorique française" în Franța; „Proceedings of Prehistoric Society, Man, Antiquity" în Anglia; „Bulletin de la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire" în Belgia; „Germania" în Germania; „Anthropos" în Austria; publicațiile lui Smithsonian Institution în Statele Unite. Multe alte țări posedă acum astfel de publicații.

Organizarea unor congrese naționale și internaționale, precum și crearea Uniunii Internaționale pentru studiul cuaternarului au permis efectuarea unor schimburi de vederi rodnice. În afara zonelor clasice ale văilor Somme și Dordogne, explorările s-au extins acum la toate continentele, în special la Africa și Asia. Stabilind legături între geologie și științele umane, preistoricii au început să descifreze istoria gîndirii umane pe baza dezvoltării artei mobiliere și rupestre, care se manifestă de peste 20 de milenii. Rezultatele obţinute au permis diverşilor autori să abordeze vaste interpretări ştiinţifice şi filozofice.

---

[1] De menționat că în literatura arheologică sovietică și românească, termenul de „preistorie" tinde să fie înlocuit prin termeni inspirați din clasicele lucrări ale lui L. Morgan (1877) și Fr. Engels (1884): întreaga perioadă inițială a omenirii, durînd mai bine de un milion de ani, este cuprinsă sub numele de *istoria societății primitive* (și, mai pe scurt, de *comună primitivă)*. L.H. Morgan preluase de la Ferguson periodizarea în *sălbătăcie* și *barbarie*, dar schițase o împărțire în etapele: *pregentilică*, *gentilică* și de *destrămare a relațiilor gentilice*. Această din urmă idee a fost preluată de etnografii și arheologii sovietici din ultimele decenii. Înainte de *comuna primitivă*, Cosven deosebește *turma primitivă*, iar comuna primitivă este împărțită de Tolstov în etapa *gintei matriarhale* și în etapa *gintei patriarhale*. I. Sellnow consideră că în evoluția culturii materiale este bine să deosebim: a) o perioadă de confecționare de unelte pentru *însușirea* naturii (paleolitic); b) o perioadă cu unelte pentru transformarea naturii și „producție" (neolitic etc.). — *V.S.*

FENOMENE GLACIARE ŞI PERIGLACIARE. Totalitatea timpurilor preistorice este dominată de fenomene climatice care au provocat o serie de răciri dramatice, de faze glaciare şi interglaciare.

Calota glaciară a Scandinaviei se întindea departe spre sud, pînă în Anglia, în Ţările de Jos şi în Germania, în timp ce marii gheţari alpini coborau în valea Rhônului. Penck şi Brückner (1909) deosebesc patru mari perioade glaciare: günz, mindel, ris şi würm, definite în Alpii bavarezi şi suabi. În amănunt, se deosebesc 11 solifluxiuni, dar interpretarea acestora este încă dificilă. Studiile recente ale lui F. Bourdier asupra glaciaţiei din Alpii francezi şi ale lui A. Cailleux asupra fenomenelor periglaciare din Europa occidentală arată că fazele glaciare din Alpi corespund celor ale gheţurilor scandinave.

Cauzele fenomenului glaciar rămîn necunoscute, dar efectele sale au fost detectate pe tot globul, pînă în regiunile ecuatoriale, provocînd grave perturbaţii în distribuţia geografică a fiinţelor vii.

Studiile asupra perioadelor glaciare au dus la publicarea unor lucrări din ce în ce mai exhaustive: *The changing World of the Ice Age*, de R.A. Daly (1934), *Glacial and Pleistocene Geology*, de R.F. Flint (New York, 1957), cele două volume *The Quaternary Era*, de J.K. Charlesworth (Londra, 1957) şi *The Pleistocene Period*, de F.E. Zeuner (Londra, 1959).

Observaţiile lui S.K. Runcorn şi ale altora (1959—60) asupra paleomagnetismului tind să admită o deplasare a polilor în cursul timpurilor geologice, dar A. Dauvillier şi alţii (1962) preferă să presupună existenţa unei alunecări globale a scoarţei terestre. R.W. Fairbridge a prezentat recent (1961) o sinteză paleoclimatică a cuaternarului.

CRONOLOGIA. În 1900, G. de Mortillet s-a hazardat să evalueze durata perioadei cuaternare la 250 000 ani, care a părut atunci fabuloasă şi de necrezut. După 40 de ani, M. Boule admitea valoarea de 500 000 de ani, apropiată de cea de 600 000 ani, propusă de astronomul şi geofizicianul iugoslav M. Milanković în 1920, 1930 şi 1938.

Acesta a folosit metode matematice, pornind de la variaţia probabilă a radiaţiilor solare, conform ipotezei deplasării polilor, propusă de W. Köppen şi A. Wegener. Totuşi, în 1943, H. Kuiper a dovedit inexactitatea acestor calcule.

Alţi autori au adoptat valori diferite: A. Penck, între 500 000 şi 1 milion de ani, iar G.E. Pilgrim, 1,5 milioane de ani. R. Spitaler din Praga, în 1939, şi apoi J. Blanchard de la Paris în 1942, au reluat calculul duratei perioadei cuaternare, pornind de la date astronomice şi explicînd în acelaşi timp periodicitatea fazelor glaciare. J. Blanchard, care admite ipoteza unei deplasări a polilor, a regăsit cele 11 solifluxiuni indicate de abatele Breuil şi a stabilit durata cuaternarului, inclusiv villafranchianul, la circa 1 500 000 ani.

Alte precizări au fost furnizate pentru ultimele milenii prin metoda *varvelor*, propusă de G. de Geer (1858—1943).

Varvele sînt depunerile anuale ale apelor curgătoare pe fundurile lacurilor glaciare, în fața frunții ghețarilor. G. de Geer a studiat aceste depuneri stratificate, numărîndu-le pînzele în diverse locuri și a reușit să publice în 1910 o cronologie amănunțită a ultimilor 12000 ani î.e.n. — de la magdalenian pînă la sfîrșitul paleoliticului superior —, urmărind pas cu pas retragerea ghețarilor scandinavi. G. de Geer a continuat acest remarcabil studiu, l-a corectat și l-a completat într-o serie de lucrări efectuate pînă în 1940. Aceeași metodă a fost folosită cu succes de M. Sauramo în Finlanda (1929) și de E. Antevs în America de Nord (1931) etc., dar sincronismul diverselor serii de observații nu a fost dovedit decît în 1953, cu ocazia folosirii metodei carbonului 14 care a confirmat excelența metodei varvelor.

TERASE MARINE ȘI FLUVIATILE. La începutul secolului nostru, L. de Lamothe a remarcat o serie de terase etajate de-a lungul coastelor Algeriei și a arătat că era vorba de depozite marine, de vechi plaje cu pietriș, nisipuri și scoici fosile; aceste depozite, situate întotdeauna la aceleași altitudini, indicau deci vechile nivele ale mărilor cuaternare.

Ulterior, L. de Lamothe a descoperit în valea Isserului „terase fluviatile“ a căror altitudine corespundea celei a „teraselor marine“. Extinzînd cercetările sale și bazîndu-se pe principiul eustatismului — adică pe faptul evident că toate oceanele comunică între ele și că cota zero se găsește la același nivel în toate țările lumii —, el a arătat că terasele rîurilor Moselle, Rin, Rhône și Isser se datoresc oscilațiilor eustatice ale nivelului de bază. În 1911, el a publicat un memoriu în care își expune forma definitivă a teoriei.

Ch. Depéret, care a corelat unele morene, martore ale glaciației würm, cu unele terase fluviatile, a fost sedus de această idee și a întrevăzut posibilitatea unei splendide sinteze bazate pe eustatism, care să permită urmărirea, la aceleași cote relative, a teraselor marine sau fluviatile și a depozitelor morenice, toate fiind datate prin fosile și prin vechi culturi umane. Cuaternarul a fost, astfel, încadrat în istoria celor patru terase situate la 15, 30, 60 și 100 m, aceste nivele marine (sicilian, milazzian, monastirian și tyrenian) corespunzînd formațiilor glaciare din günz, mindel, riss și würm.

Dar această teorie era falsă chiar de la bază, datorită scăpării din vedere a unui fenomen esențial: persistența în tot cursul cuaternarului a unor mișcări proprii ale scoarței terestre, care au ridicat unele plaje și au scufundat adînc altele. A trebuit deci să se renunțe la această metodă atît de simplă, pentru a reveni la studiile paleontologice și morfologice exacte, cum sînt cele pe care V. Commont, abatele Breuil și F. Bourdier le-au efectuat pe valea Sommei, iar J. Tricart pe valea superioară a Senei.

DEPOZITELE DIN PEȘTERI. Studiul mai atent al depunerilor din peșteri, nivel cu nivel, cu fauna și cu inventarul lor de unelte preistorice, a permis obținerea unei mai mari precizii stratigrafice și cronologice. Astfel s-a dat toată importanța lui *Hommo sapiens* antemusterian, descoperit de Henri-Martin în peștera Fontéchevade. Aceste studii de teren au fost completate cu noi metode (stabilirea proporției de carbon radioactiv 14 etc.) care permit studiul mineralelor rocilor friabile (nisipuri și mîluri), al polenului și lemnului, precum și datarea anumitor resturi organice.

STUDIUL FLOREI. Analiza polenică a turbelor, iniţiată de C.E. Bertrand în 1899, a fost aplicată în toată Europa. În Franţa, lucrările lui G. Dubois, G. Lemée şi Van Campo au permis precizarea studiului evoluţiei asociaţiilor forestiere în funcţie de modificările climei. Palinologia aduce astăzi mari servicii.

Celelalte depozite cuaternare au furnizat elemente de floră care permit urmărirea evoluţiei vegetaţiei în funcţie de cea a climei.

Au fost studiate mai ales migraţiile orizontale şi verticale în anumite regiuni muntoase (Laurent şi Marty, H. Gaussen etc.), variaţia florelor forestiere ale Europei în funcţie de extinderile glaciare (Ph. Guinier, H. Gams, 1949) etc. Aceleaşi metode au fost adoptate şi în America de Nord şi în U.R.S.S.

STUDIUL FAUNEI. Iniţiat în mare măsură în secolul al XIX-lea, studiul faunelor a fost continuat în mod activ. S-a constatat că din 100 de specii de mamifere care au trăit în cuaternar, 15 au dispărut de pe suprafaţa Pămîntului (ca *Machairodus* şi mamutul). Celelalte trăiesc şi astăzi, dar aria lor de repartiţie geografică s-a schimbat. În cuaternar, în Europa occidentală au trăit trei faune diferite:

1) *O faună de climă caldă*, de tip african sau indo-african, caracterizată prin elefantul antic, rinocerul lui Merck, hipopotamul amfibiu, leul şi hiena;

2) *O faună de stepă*, caracterizată prin antilopa saiga, calul lui Prjevalski, hemionul (colun sau măgar sălbatic), popîndăul şi marmota bobac. În zonele mai împădurite se mai adaugă bizonul şi bourul, iar în cele mai calde, leul şi hiena;

3) *O faună de climă rece*, de taiga şi de tundră, caracterizată prin cîteva specii care trăiesc şi azi în regiunile nordice: renul şi boul moscat, vulpea polară şi iepurele alb, şi prin două animale azi dispărute: mamutul şi rinocerul lînos.

S-a crezut la început că fauna caldă a supravieţuit timp îndelungat, că a fost distrusă de frigul celei de-a patra glaciaţii (würm) şi că a fost înlocuită de fauna de climă rece: reni şi mamuţi. În realitate, această faună, care nu putea suporta frigul mai mic al primelor glaciaţii, a migrat spre sud, apoi a revenit spre nord în timpul interglaciaţiilor. Existenţa celor 11 solifluxiuni, care indică 11 faze reci repartizate între cele patru perioade glaciare, arată că aceste faune au fost în permanentă mişcare pînă în momentul în care ultimul mare îngheţ s-a întins pînă la coastele Mediteranei, suprimînd orice posibilitate de refugiu spre ţări mai calde. Această concepţie, mult timp combătută, a fost verificată mai ales în Franţa (valea Sommei), (abatele H. Breuil), pe platoul Vassincourt (A. Paque şi R. Vaufrey) şi în Spania (peştera de la Castillo, din provincia Santander), datorită punerii în evidenţă a unor succesiuni repetate de resturi de elefant antic şi de mamut. În peşterile din muntele Carmel (Israel), succesiunea climelor a putut fi dedusă din proporţia relativă a gazelelor (din stepele secetoase) şi a cerbului lopătar (din păduri). Existenţa, în numeroase depozite rămase pe loc, a unui amestec de specii de climă caldă cu specii de climă rece dovedeşte că în anumite momente clima a avut probabil anotimpuri destul de puţin diferite, deoarece a permis convieţuirea acestor specii.

OREOPITECUL. Descoperirea în 1958 a unui curios schelet de primat în lignit urile miocene de la Baccinello (Toscana, Italia) a atras atenţia asupra formei *Oreopithecus*, descoperită în 1872. Acest primat, de talia unui cimpanzeu, cu faţa puţin prognată, are dinţi cu caractere umanoide şi un bazin de *biped* (caracteristic hominienilor). Datorită bazinului a fost considerat drept o ramură a hominienilor, care s-a desprins foarte devreme și s-a dezvoltat paralel cu cea a antropomorfelor. Rătăcit pe o cale fără ieșire, oreopitecul a rămas arboricol și a dispărut fără descendență cunoscută[2].

OAMENII FOSILI. Secolul al XIX-lea dezvăluise un strămoș foarte contestat, pitecantropul, un om străvechi, cel de Neanderthal, de asemenea controversat, și unii oameni din paleoliticul superior, cei de Cro-Magnon și de Chancelade[3]. În secolul al XX-lea, descoperirile de oameni fosili se multiplică, iar studiul lor devine tot mai fecund.

La bază se găsesc *australopitecii*, descoperiți în sudul Africii încă din 1925, de talia unui cimpanzeu, cu mersul vertical, cu capacitatea craniană de 600 cm^3, cu o dentiție de tip intermediar și care au trăit la începutul pleistocenului (în villafranchian)[4].

Dar pentru a afirma că acești australopiteci reprezintă primele schițe ale omenirii, trebuia stabilit că uneltele foarte rudimentare din pleistocenul inferior (bolovani poliedrici și pietre șlefuite din *cultura de prund* („pebble-culture“) sînt într-adevăr opera lor. Problema a fost rezolvată în 1959, cînd Leakey și Leakey au descoperit în Tanganyica un nou australopitec *(Zinjanthropus boisei)* însoțit de uneltele sale de piatră, ascendent direct al omului.

---

[2] Considerațiile recente situează momentul desprinderii oreopitecinelor din trunchiul primatelor *(Propliopithecus? Apidium?)* cam cu 26—27 milioane de ani î.e.n. Nivelul de „hominizare“ atins este aproximativ cel al ramapitecinelor (Heberer, 1972). — *V.S.*

[3] Reamintim că fosilele de *Pithecanthropus erectus* au fost descoperite, pentru prima oară, la Trinil (Djava) de dr. Eugene Dubois, în 1891. Omul de Neanderthal (unii ortografiază: *Neandertal*, însă grota Feldhofer, unde a fost descoperită prima fosilă, se găsește în vechea Prusie renană, între Dusseldorf și Eberfeld) este cunoscut din 1856. *Homo neanderthalensis* a fost de la început considerat, de către Schaffhausen și Huxley, drept o rasă primitivă, cu unele caractere simiene, în timp ce R. Virchow, celebru anatomo-patolog și antropolog, a considerat craniul respectiv drept un craniu patologic (idiot, rahitic etc.). Dar fosile din aceeași categorie au mai fost găsite la Gibraltar (1848) și la La Naulette (1866, Topinard); ulterior, la Spy (1886), Krapoina (1899), la Chapelle-aux-Saints (1908), Moustier (1909) etc. De la ultima localitate își trage numele *cultura de tip musterian*, aproape caracteristică acestui tip de om paleolitic. Omul de *Cro-Magnon* a fost descris mai întîi de L. Lartet ca un „troglodit“ (1868) — este omul „epocii renului“ (M. Boule). *Omul de Grimaldi* a fost descris în 1872 iar *Omul din Chancelade*, în 1888. Din aceeași categorie fac parte oamenii fosili din Moravia: Brno (1891), Predmost (1878), Combe-Capelle (1909), Oberkassel (1914). Cel mai vechi craniu paleolitic din România (descoperit la Cioclovina și studiat de I. Simionescu și Fr. Rainer în perioada interbelică) aparține aceluiași om (relativ) recent *(H. sapiens)*. — *V.S.*

[4] Descoperirea și studierea australopitecinelor este în mare măsură opera lui R. Dart. În aprecierea volumului cranian trebuie să ținem seama de faptul că aceste „maimuțe-oameni“ aveau o talie mică, deci greutatea *relativă* a creierului era apreciabilă. R. Dart a susținut că înainte de cultura de piatră (paleolitic inferior), „maimuțele-oameni“ au folosit unelte de lemn, os și corn *(cultură odonto-keratică*, prepaleolitică). S-a mai speculat asupra regimului carnivor (poate canibal?) al australopitecinelor (Ardrey). Cercetări recente, efectuate de diferiți membri ai familiei Leakey, au dus la conturarea unui nou grup de hominide în villafranchian, *habilinele. Homo habilis*, apărut cu 2—3 milioane de ani în urmă, era un *tool-maker*. Alături de această formă (de „nivelul“ australopitecinelor) s-a descris o formă robustă de *Paranthropus*, probabil erbivor (Tobias). — *V.S.*

Un altul a fost descoperit de Coppens, lîngă Tibesti (Ciad, Africa). Australopitecii nu au fost descoperiţi pînă acum decît în Africa, în timp ce urmele culturii de prund există şi în Eurasia[5].

Mai recent (la baza pleistocenului mijlociu) se situează arhantropii sau *pitecantropii.* Aceştia sînt mai perfecţionaţi decît australopitecii şi se cunosc patru tipuri: pitecantropul din Djava (descoperit în ultimul timp în mai multe exemplare), omul din Mauer sau Mauerantropul[6], descoperit în 1907, la care se adaugă sinantropii descoperiţi între 1922 şi 1940 la Şu-Ku-Tien (China), însoţiţi de unelte de piatră grosolane (capacitatea lor endocraniană variază între 1 000 şi 1 200 cm³, iar talia lor între 1,55 şi 1,60 m). În sfîrşit, în 1954, C. Arambourg şi R. Hoffstetter au descoperit atlantropul în pleistocenul mijlociu de la Ternifine, lîngă Palikao (Algeria), cu unelte comparabile cu cele de tip cheulean-acheulean vechi. Aceste descoperiri duc deci la noţiunea unui grup străvechi de oameni, recunoscuţi ca atare şi care includea fiinţe puţin diferite în funcţie de continente[7].

Ulterior descoperirile de oameni de tip Neanderthal s-au înmulţit.

Scheletul de la La Chapelle-aux-Saints (Corrèze), descoperit în 1908 de A. şi J. Bouyssonie şi de Bardon şi studiat de M. Boule, este situat într-un strat cu rinoceri lînoşi şi reni (würm), fiind însoţit de unelte de tip musterian. Au urmat şi alte descoperiri: la Moustier (Dordogne, 1908), la La Ferrasie (Dordogne, 1909—1911), la La Quina (Charente, 1911—20), pe muntele Circe (Italia, 1939), în Uzbekistan (1939) etc.

Nu a fost însă descoperită nici o urmă de oameni fosili între pitecantropul de la începutul pleistocenului mijlociu şi cea de-a patra perioadă glaciară; dar acest hiatus de aproape 600 000 de ani nu şoca pe nimeni, deoarece omul de Neanderthal părea a fi intermediarul normal şi unic între tipul arhaic pitecantrop-sinantrop şi *Homo sapiens.* O serie de descoperiri senzaţionale au modificat însă acest punct de vedere.

Să reamintim un caz: „omul din Piltdown“, reprezentat de două cranii omeneşti cu oase groase, descoperite în 1911 şi 1916 în apropiere de Newhaven, însoţite de un curios maxilar, cimpanzoid. Mult controversată de atunci, această „descoperire“ s-a dovedit în 1953 a fi doar o pură înşelătorie.

Alte două descoperiri sînt însă indiscutabile. Vom cita astfel omul din Swanscombe (de pe valea Tamisei). Înzestrat cu un craniu gros, cu o capacitate de circa 1 350 cm³, şi însoţit de resturi de elefant antic şi cu unelte de tip acheulean superior, el datează din paleoliticul inferior (interglaciarul mindelriss). Un craniu de tip analog descoperit în peştera de la Fontéchevade (Charente) de către Henri-Martin (1947) şi descris de H.V. Vallois, datează, de asemenea, dintr-o interglaciaţie anterioară glaciaţiei vürm.

---

[5] Urme de cultură de prund, în România, au fost descrise de C.S. Nicolăescu-Plopşor. — *V.S.*

[6] Mandibula descoperită la Mauer a fost descrisă de O. Schoetensack (1908) sub numele de *Homo heidelbergensis*, nume foarte răspîndit în literatură. — *V.S.*

[7] Descoperiri încă mai recente în R.P. Chineză contureazǎ *omul de la Lan Tian* (Kwang-Chi Chang). Taxonomia actuală grupează archantropinele în specia *Homo erectus* cu variante *H.e. erectus (= Pithecanthropus)*, *H.e. pekinensis* (de la Şu-Ku-Tien), *H.e. soloensis* (din Indonezia), *H.e. leakeyi* (descoperit în Africa centrală, în defileul Oldoway), *H.e. mauritanicus*, *H.e. heidelbergensis*, *H.e. lantianensis.* Spre deosebire de arhantropi, paleantropii sînt deja *H. sapiens* (de exemplu, *H. sapiens neanderthalensis).* — *V.S.*

În orice caz, încă de la sfîrşitul paleoliticului inferior, este dovedită existenţa unui *Homo sapiens* arhaic, ceea ce ar putea implica distingerea a două ramuri umane care s-au despărţit foarte devreme: *Homo sapiens* arhaic (sau *presapiens)* şi omul de Neanderthal, dispărut înainte de paleoliticul superior. Pe lîngă aceştia au mai fost descoperiţi diverşi oameni fosili: la Ehringsdorf şi Steinheim (Germania), la Krapina (Iugoslavia), Saccopastore (Italia), Gibraltar, Israel, cu anumite caractere neandertaloide ale craniului care au permis considerarea lor — după discuţii îndelungate — drept preneandertalieni (H.V. Vallois şi J. Piveteau). Aceştia sînt grupaţi sub denumirea de *Paleanthropi.*

Studiile cele mai recente par a fi în favoarea monofiletismului, iar J. Piveteau, după o revedere de ansamblu a acestei probleme *(Traité de Paléontologie,* tom. VII: *Les Primates et la Paléontologie humaine,* 1957), a ajuns la concluzia că omul din Steinheim şi cel din Ehringsdorf, care reprezintă forma finală a omului acheulean, cuprind potenţial cele două tipuri umane mai tîrzii: *Homo neanderthalensis,* tip regresiv care a supravieţuit puţin timp, şi *Homo sapiens,* reprezentat în Franţa în timpul paleoliticului superior de rasele Cro-Magnon, Chancelade şi Grimaldi, şi care a rămas singurul stăpîn al lumii. Mezoliticul (mileniul X î.e.n.) aduce un element nou: brahicefalia oamenilor din Ofnet (Bavaria) şi din alte staţiuni.

Faţă de marele număr de zăcăminte de oameni fosili descoperite pînă acum (200 în Europa şi tot atîtea în celelalte continente) se impunea necesitatea elaborării unui catalog critic. Două astfel de cataloage au apărut în 1936 sub redacţia lui W. şi A. Quensdtedt, pe de o parte, şi E. Hue, pe de alta. Interesante prin bibliografia lor, aceste cataloage nu cuprind nici descrieri, nici precizări stratigrafice. Un nou catalog, redactat de 35 de autori, sub conducerea lui H.V. Vallois şi H.L. Movius, a fost publicat în 1952 în „Comptes rendus du Congrés géologique international d'Alger".

CULTURILE LITICE. Preistoricii arheologi din secolul al XIX-lea au deosebit mai multe culturi succesive: paleolitic (cheulean, acheulean, musterian, solutrean şi magdalenian), mezolitic (azilian şi tardenosian) şi neolitic, cu pietre şlefuite. Această serie va fi completată în secolul al XX-lea.

Prima problemă este a celor mai vechi culturi omeneşti, chiar de la baza cuaternarului. După uneltele cioplite şi puţin tocite, foarte grosolane, din zăcămîntul de la Saint-Prest (Eure-et-Loire), se semnalează bifacialele grosolane şi silexurile rostrocarenate de la Crags din Anglia (Weybourne, Norwich, Ipswich), adesea controversate. De asemenea, au fost descoperiţi bolovani poliedrici de către C. Arambourg în villafranchianul din nordul Africii, în timp ce unele straturi vechi au furnizat pietre de rîu rotunjite *(cultura de prund).* Toate acestea dovedeau existenţa unui precheulean, ce poate fi recunoscut încă de la începutul pleistocenului (J. Blanchard îi adaugă şi belemianul). Această etapă corespunde, de fapt, unui stadiu foarte arhaic al omenirii, şi anume celui al australopitecilor, în timp ce cheuleanul şi acheuleanul vechi corespund stadiului pitecantropului, sinantropului, mauerantropului şi atlantropului.

În 1930, abatele Breuil a introdus o nouă etapă în paleoliticul inferior, şi anume clactonianul, reprezentat de o cultură cu aşchii (sfărîmături) de silex foarte simple, descoperit în Anglia şi regăsit atît în Franţa, cît şi în Africa. În paleoliticul mijlociu, levaloisianul (de asemenea, cu aşchii) face legătura dintre acheulean şi musterian, în timp ce aurignacianul (Cartailhac, 1916 şi abatele Breuil) reprezintă cultura anterioară celei solutreene (D. Peyrony deosebeşte şi un perigordian local).

Treptat, aceste studii au fost extinse în Asia şi Africa.

PREISTORIA ÎN ASIA. În timp ce arheologii sovietici prospectau imensele teritorii ale Siberiei şi Turkestanului, cei francezi, americani şi chinezi au descoperit, după 1923, paleoliticul în China. În 1927, dr. Davidson Black şi dr. Bohlin au definit sinantropii de la Şu-Ku-Tien, din împrejurimile oraşului Pekin. Dr. W.G. Pei a descoperit în 1933, într-un nivel superior, şapte schelete de *Homo sapiens* şi o cultură caracteristică paleoliticului superior.

În India, *Yale North India Expedition* (H. de Terra, T.T. Paterson şi P. Teilhard de Chardin) a studiat în 1935 formaţiile cuaternare din Punjab şi din Caşmir, definind o serie completă cu uneltele şi cu faunele sale.

În Israel, şcolile engleză şi americană (sub conducerea lui Miss Garrod şi M. Mac Cown), ca şi cea franceză (M. Neuville) au reconstituit preistoria, descoperind splendide culturi şi oameni fosili de la sfîrşitul paleoliticului. Mai recent, israeliţii au descoperit şi un pitecantropian.

În cealaltă extremitate a Asiei, în Indonezia, poziţia pitecantropilor a fost precizată, lor atribuindu-li-se cultura paleolitică de la Padjitan. Apoi, descoperirea oamenilor de la Solo şi de la Wadjak a dus la hoabinieni, predecesorii oamenilor actuali.

PREISTORIA ÎN AFRICA. În secolul al XX-lea, preistoria africană a realizat progrese imense. Cultura foarte primitivă a australopitecilor, *cultura de prund*, descoperită *in situ* de C. Arambourg, este cunoscută şi în Africa orientală sub denumirea de *Kafouen* (E.J. Wayland), precum şi în Congo, Angola şi sudul Africii.

Paleoliticul inferior clasic din Europa a fost regăsit în toată Africa, inclusiv în Sahara, care a fost intens locuită în perioadele umede ale cuaternarului. Acestea reprezintă cultura pitecantropilor, dintre care se cunoaşte cel puţin un tip, *Atlantropus*, din nordul Africii.

Etajele mijlociu şi superior din paleolitic prezintă forme diverse a căror poziţie a fost stabilită cu timpul. Neoliticul din Sahara este astăzi bine cunoscut nu numai prin uneltele sale de piatră, ci şi prin numeroasele sale gravuri şi picturi rupestre, descoperite din Mauritania pînă în Tibesti. Se deosebeşte o perioadă arhaică în cursul căreia o populaţie de vînători a gravat figuri de animale sălbatice în mărime naturală (elefanţi, hipopotami etc.) şi apoi o perioadă mai recentă, în care o populaţie de păstori a desenat animale domestice şi mai ales boi.

Mult mai tîrziu, în ultimul mileniu înaintea erei noastre, au apărut picturi cu care trase de cai, iar în cele mai recente, de cămile.

Geologii şi arheologii au reuşit aproape peste tot să situeze observaţiile preistorice în contextul lor geologic, permiţînd înţelegerea evoluţiei omului african, precum şi a culturilor litice, a faunelor, florelor şi climelor. Se poate constata, cu o oarecare surpriză, că în afară de Valea Nilului, Africa nu a cunoscut epocile metalelor; celebrele bronzuri de la Benin datează din secolul al XV-lea e.n.

În 1955 au apărut trei lucrări esenţiale: *Préhistoire de l'Afrique du Nord*, de L. Balout, *Préhistoire de l'Afrique*, de Mlle H. Alimen. În 1960, J.D. Clarke a publicat *The prehistory of Southern Africa.*

PREISTORIA ÎN AMERICA. Ca şi Scandinavia, America de Nord a fost acoperită parţial cu o calotă glaciară o mare parte din cuaternar. Antevs şi R.F. Flint au studiat amănunţit istoria sa în această perioadă.

În momentul răspîndirii lor maxime, gheţarii cu centrul în Canada se întindeau pe o suprafaţă de peste 10 milioane kilometri pătraţi, coborînd pînă la 39° latitudine nordică, adică cu 11° mai la sud decît în Europa (izotermele actuale descriu aceeaşi curbă sub influenţa curentului rece al Labradorului). În America de Nord geologii au regăsit, ca şi în Europa, patru mari faze glaciare: Nebraska, Kansas, Illinois şi Wisconsin, precum şi faze interglaciare asemănătoare. Analizele polenice şi studiul varvelor au furnizat rezultate comparabile cu cele din Europa, ceea ce a permis încercarea unor telesincronisme.

Dimpotrivă, în America nu a fost descoperită acea abundenţă de culturi umane care a permis înţelegerea preistoriei Lumii Vechi. Peşterile şi aluviunile vechi nu au furnizat aproape nimic, confirmînd astfel că invadarea Americii de către om prin istmul (sau strîmtoarea) Behring reprezintă un fapt recent, datînd de maximum 10 000 ani, din epoca mezolitică.

Antropologii americani care ar fi dorit să descopere strămoşi mai vechi au efectuat cercetări intense. Astfel este cazul lui F. Ameghino (1854—1911), „inventatorul“ omului terţiar din America de Sud[8].

Acest învăţător argentinian, entuziasmat de lectura lucrărilor lui Lyell şi Darwin, a efectuat numeroase săpături recoltînd un mare număr de mamifere fosile pe care le-a studiat cu mare folos (vol. III, pag. 398, 531); dar el a încercat să demonstreze neapărat şi o teorie personală, după care omul ar fi originar din America de Sud, unde ar fi apărut pe la mijlocul terţiarului, sub forma unei mici fiinţe, *Homunculus patagonicus*. În 1906, sistemul său era complet. Acestui *Homunculus* îi urmau patru *Prothomos*, de asemenea terţiari (în realitate, schelete de carnivore, fiinţe mitice sau oseminte de indieni contemporani), succedaţi, la rîndul lor, de pitecantropul din Djava şi apoi de *Homo* veritabil.

Antropologul nord-american Ales Hrdlicka a contestat violent această teorie pe care a respins-o după ce a vizitat zăcămintele argentiniene şi a studiat materialele respective. El a revizuit, de asemenea, materialele din America de Nord (Calaveras, Trenton, Lansing, Los Angeles, Melbourne şi Vero (Florida), Minnesota etc.) şi a ajuns la concluzia că trebuie menţinută teoria originii asiatice a omului american.

---

[8] Ipoteza lui Ameghino aduce aminte de viile discuţii purtate acum aproape 100 de ani în jurul problemei „omului din terţiar“ (G. de Mortillet, 1883, Bourgeois, 1867, J. Prestwich, 1889, A. Rutot, 1904). Un *Homo faber* în terţiar a fost presupus pe baza unor „unelte“ simple de os, dinte şi piatră *(eoliţi)*, dar s-a arătat ulterior că asemenea „modelări“ pot fi datorite acţiunii factorilor naturali. — *V.S.*

În ultimul timp, metoda carbon-14 a dovedit că omul din Tepexpan (Mexic), descoperit în 1947 într-un depozit lacustru străvechi, alături de un mamut, datează de maximum 10 000 de ani.

Pare, deci, bine dovedit faptul că preistoria americană se limitează la ceea ce corespunde mezoliticului şi neoliticului european. Prototipul americanilor autohtoni, adică al „indienilor piei-roşii", trebuie căutat în răsăritul Asiei. Iar eschimoşii care locuiesc în Alaska, nordul Canadei şi Groenlanda par a fi venit din partea de răsărit a Siberiei într-o epocă şi mai recentă.

Unealta cea mai veche cunoscută, un vîrf cu tăiş crestat, de aspect solutrean, a fost găsit în 1927 în peştera de la Sandia (Noul Mexic) alături de oseminte de bizon, elefant şi mastodont.

Deasupra, aceeaşi peşteră prezenta un nivel mai recent, care conţinea o faună şi unelte de tipul numit Folsom. Acest tip de cultură, descoperit în acelaşi an în localitatea eponimă de la Folsom (Noul Mexic), este caracterizat printr-un vîrf de suliţă fin retuşat şi prevăzut cu o canelură mediană. Fauna cuprinde ultimii mamuţi americani. Acest nivel arheologic este considerat, de obicei, ca fiind contemporan cu mezoliticul din Europa (mileniul al X-lea î.e.n.).

O a treia civilizaţie, mai recentă, este cea a vîrfurilor din Yuma (Colorado), retuşate fin şi fără gol interior ca cele de Folsom, care permit să fie înmănuşate şi montate pe mîner sub formă de cuţit. Numai nivelul cel mai vechi al acestei civilizaţii este anterior erei noastre, conţinînd un mamut şi o rasă dispărută de bizon.

DEZVOLTAREA ARTEI ŞI GÎNDIRII. Nu ştim nimic sigur despre viaţa oamenilor din paleoliticul inferior. Deoarece păstoritul şi cultura plantelor nu au apărut decît în neolitic, ne putem imagina că modul lor de viaţă era comparabil cu cel al unora dintre oamenii primitivi contemporani care, înainte de invaziile europene, duceau o viaţă mai mult sau mai puţin nomadă, trăind din vînat, din pescuit şi din culesul fructelor.

Foarte de timpuriu, omul a învăţat să folosească focul şi a pus la punct metode pentru folosirea materiilor prime destinate uneltelor şi armelor.

Primele manifestări grafice — mici cupe — datează din paleoliticul mijlociu şi din musterian, dar nu cunoaştem semnificaţia lor. Omul din Neanderthal a ajuns totuşi la o astfel de dezvoltare a gîndirii, încît a pus la punct o serie de practici funerare. În paleoliticul superior, mormintele găsite sînt mai numeroase, iar riturile de înhumare mai complexe (vol. I, pag. 5—6).

Am amintit (vol. III, pag. 573—574) primele descoperiri de artă preistorică efectuată în secolul al XIX-lea. În secolul al XX-lea, descoperirile de gravuri şi de picturi s-au multiplicat, de la peşterile din Combarelles şi Font-de-Gaume aux Eyzies (1902) pînă la cele din Lascaux (1940) şi Rouffignac (1956). Această artă aparţine în întregime paleoliticului superior (aurignacian şi magdalenian). Dacă manifestările artistice veritabile rămîn relativ rare, peşterile ornamentate sînt numeroase şi numai Ile-de-France singură prezintă peste 1 000, ceea ce constituie un ansamblu unic în Europa occidentală.

S. Reinach, J. Déchelette şi G. Goury au dovedit că arta cuaternară era legată de magie. Majoritatea gravurilor şi picturilor sînt, într-adevăr, situate în locuri puţin accesibile şi pot fi atribuite unor practici de vrăjitorie (descîntece), ale căror teme favorite — apărarea contra animalelor periculoase şi atacarea vînatului — sînt tipice pentru vînători. Tot în această epocă apare şi cultul fecundităţii, atestat de numeroase statuete primitive de tip „Venus" descoperite din Franţa şi pînă în Siberia, trecînd prin Italia şi Austria. Toate au o serie de caractere comune, ca formele voluminoase şi un pîntec proeminent. Anumite scene cu animale evocă acelaşi cult al fecundităţii.

Aceste desene pe obiecte comune, statuete, picturi, gravuri şi sculpturi pe pereţii peşterilor, precum şi înhumările ne permit să întrezărim un aspect al gîndirii omului din paleoliticul superior, adică de acum vreo 25 000 ani. Aceste prime manifestări au fost urmate de cele din mezolitic, din neolitic şi din epoca metalelor. Civilizaţia neolitică, cunoscînd agricultura şi creşterea animalelor, a stabilizat oamenii în aşezări la sate, dînd naştere ulterior civilizaţiei urbane. De aici s-a trecut spre protoistorie şi spre dezvoltarea excepţională a civilizaţiei. Astfel, după progrese lente eşalonate pe mai bine de 1 milion de ani, omul a trecut brusc, în mai puţin de 10 000 ani, de la folosirea pietrei cioplite la cea a energiei atomice.

■

Notă. În România, primele lucrări de arheologie preistorică datează de la sfîrşitul secolului al XIX-lea. Printre precursori amintim pe Cezar Bolliac (1870) şi pe Al. Odobescu; primele silexuri paleolitice au fost descrise de Gr. Ştefănescu (1885); încă înainte de primul război mondial se înscriu săpăturile referitoare la aceeaşi perioadă, ale lui J. Teutsch (1910) şi M. Roska (1912). În perioada interbelică activează I. Andrieşescu, R. Vulpe (istorici), N.N. Moroşan (geolog). După 1944, arheologia se numără printre ştiinţele care au luat un avînt extraordinar. Cităm, printre cercetătorii paleoliticului, pe C. Nicolăescu-Plopşor; printre cercetătorii neoliticului, pe D. Berciu, Vl. Dumitrescu, I. Nestor; printre cercetătorii epocii metalelor (în afară de unii dintre cei citaţi), pe Em. Condurachi, M. Petrescu-Dîmboviţa, E. Comşa, Al. Vulpe. Materialele osteologice, umane şi paleofaunistice sînt studiate în colectivul de antropologie biologică de la Iaşi (O. Necrasov şi colab.), ca şi în Laboratorul de antropologie istorică din Centrul de Cercetări antropologice din Bucureşti (Dardu Nicolăescu-Plopşor) (instituţie fundată în 1937 de către Fr. I. Rainer şi care şi-a dezvoltat profilul multidisciplinar sub conducerea lui Şt. Milcu şi O. Necrasov). Periodizarea actuală a preistoriei (a „lumii comunei primitive") pe teritoriul României este, cu aproximaţie, următoarea (după H.C. Matei, 1972):

a) *Paleoliticul inferior* durează pînă acum circa 100 mii ani. Cultura uneltelor de prund este prezentă în Valea Dîrjovului (Muntenia). Unelte ale culturii clactoniene au fost identificate la Valea Lupului şi Ripiceni (Moldova); unelte de tip abevileano-acheulean, la Căpuşul Mic (Transilvania) şi Valea Dîrjovului; unelte de tip levaloisian, la Giurgiu, Slatina şi Ripiceni.

b) *Paleoliticul mijlociu* ocupă intervalul de la 100—40 mii ani î.e.n. Unelte musteriene se întîlnesc pe întregul teritoriu al ţării (Baia de Fier, Ohaba-Ponor).

c) *Paleoliticul superior* durează pînă acum 10 mii de ani cu culturi de tip aurignacian, gravetian şi seletian. Cele mai vechi rămăşiţe umane s-au găsit în Dobrogea.

d) *Mezoliticul (epipaleoliticul)* cuprinde componente culturale aziliene, tardenoisiene şi campigniene.

e) *Neoliticul vechi* durează între anii 5500 şi 3500; se trece la cultivarea plantelor şi la creşterea animalelor. Se impune tipul rasial mediteranoid. Culturile reprezentative sînt Starcevo-Criş şi Vinca-Turdaş.

f) *Neoliticul mijlociu* durează cam cinci secole. Culturile reprezentative sînt: Dudeşti, Vădastra, Boian, Petreşti, Pre-Cucuteni şi Hamangia.

g) *Neoliticul tîrziu (eneoliticul)* durează cam tot atît. În această perioadă se organizează ginţile patriarhale. Este perioada unei ceramici pictate: culturile Cucuteni, Gumelniţa, Sălcuţa, Petreşti, Tisa.

h) În perioada de tranziţie spre epoca bronzului (2500—1800 î.e.n.) pătrund populaţiile de păstori indo-europeni, din zonele nord-pontice. Culturile reprezentative sînt: Coţofeni, Cernavodă, Horodiştea-Folteşti. Este epoca folosirii calului pentru tracţiune.

i) *Epoca bronzului* durează între 1800 şi 800. Pe la 1500 se cristalizează culturile prototracice (Tei, Verbicioara, Pecica, Monteoru etc.).

j) *Epoca fierului* începe pe la 800 î.e.n. În halstatul timpuriu se delimitează ariile lingvistice, etnice şi culturale între traci şi iliri. Viaţa păstorească încetează să fie predominentă (cultura Basarabi, Balta Verde, Stoiceni). Epoca Latène începe în secolele 5—3 î.e.n. Asupra fondului autohton acţionează influenţe greceşti, scitice şi celtice. — *V.S.*

CAPITOLUL VII
Fiziologia vegetală

A. CREŞTERE ŞI DEZVOLTARE: AUXINELE

Studiul creşterii şi dezvoltării — deci al unor funcţii care implică fenomenele de alungire, de creştere, de diviziune, de diferenţiere celulară, iar în ansamblu, un principiu superior de integrare — reprezintă unul dintre cele mai noi şi pasionante capitole ale fiziologiei. Principalul său aspect este cel al fitohormonilor.

Planta care creşte şi se dezvoltă se găseşte într-o strînsă şi necesară dependenţă de factorii mediului, şi în special de lumină şi de temperatură, cărora le răspunde prin punerea în joc a unor mecanisme complicate de reglare hormonală: de aici apare dublul aspect al tendinţelor cercetării, mai preocupată iniţial de analizarea comportării şi mai interesată apoi de cunoaşterea unor cauze mai profunde.

Faza de pionierat a fost urmată, în ultimii 15—20 de ani, de explorarea metodică bazată pe anumite realizări contemporane esenţiale şi care necesită mijloace tehnice importante. Această etapă decisivă a fost marcată iniţial de identificarea hormonului de creştere, heteroauxina, şi de descoperirea aplicaţiilor sale, iar apoi de construirea unor sere experimentale complexe şi riguroase, de un tip nou (fitotroane), primul fitotron fiind cel construit în 1942 de F.W. Went, la Pasadena.

În urma cercetărilor întreprinse prin 1922 asupra culturii rădăcinilor izolate (W.J. Robbins) şi asupra altor organe, au fost acumulate condiţiile necesare pentru noi progrese. După 30 de ani de la prima încercare a lui Haberlandt, R. Gautheret (şi, aproape simultan, P.R. White şi P. Nobécourt) reuşeşte cultura nelimitată a ţesuturilor vegetale (1938—39).

În perioada 1934—39 se pun bazele reale ale fiziologiei creşterii şi dezvoltării vegetale, a cărei evoluţie va prezenta un imens interes fiziologic şi biochimic. Într-adevăr, datorită faptului că toate organele plantelor superioare se găsesc sub controlul hormonilor, cultura lor, în medii sintetice sau cea a unor părţi simple, ar putea permite detectarea şi identificarea unora dintre aceste substanţe chimice specifice care acţionează în doze infime asupra altor organe decît acelea unde au fost produse; astfel, tiamina sau vitamina B_1, de asemenea un hormon (Bonner, 1938), este sintetizată în frunzele verzi; piridoxina sau vitamina B_6 etc. Cultura lor ar permite chiar reînnoirea concepţiilor noastre asupra vitaminelor (W.H. Schopfer, 1934, 1949). Dealtminteri, noi direcţii au fost deschise prin descoperirea giberelinelor, substanţe care, printre alte efecte, pot declanşa gigantismul la formele pitice sau pot scoate din repaus mugurii şi seminţele. Încă din 1926, E. Kurosawa (Taivan) a descoperit acţiunea giberelinei asupra creşterii: această giberelină nu era decît un suc impur, dar foarte activ. Pentru prima dată era extrasă o substanţă hormonală dintr-o plantă; au fost apoi necesari mai puţin de 30 de ani pentru ca această substanţă să intre în atenţia cercetătorilor.

Expunerea noastră se va referi mai ales la grupul de hormoni cel mai bine studiat, auxinele, şi apoi la anumite aspecte hormonale ale dezvoltării.

DETERMINISMUL HORMONAL AL TROPISMELOR. Istoricul descoperirii fitohormonilor începe cu cercetările clasice ale lui Charles şi Francis Darwin (1880) referitoare la acţiunea luminii asupra orientării organelor plantelor. Aceste cercetări au dovedit că în coleoptilul gramineelor creşterea se manifestă la o anumită distanţă de vîrf, fiind însă sub directa dependenţă a acestuia şi a fotosensibilităţii sale; stimulul şi reacţia la stimul se situează, deci, în porţiuni diferite ale organului.

Gloria de a fi introdus noţiunea de *substanţă de creştere*, sugerată de lucrările lui H. Fitting, revine danezului P. Boysen-Jensen şi maghiarului A. Paal, de la laboratorul lui Pfeffer. Printr-o serie de experienţe simple, riguroase şi elegante, primul a dovedit (1913) că stimulul transportat de la vîrf pînă la zona de creştere este de natură materială, capabil să traverseze un ecran de gelatină, iar cînd iluminarea este unilaterală, trecerea se face spre partea neluminată. Paal (1919) a arătat că dacă vîrful detaşat al coleoptilului este plasat pe suprafaţa de secţiune, dar într-o parte, astfel încît să nu ocupe decît o porţiune din secţiune, apare o curbură cu concavitatea spre partea neacoperită chiar în lipsa luminii. După cercetările lui H. Söding (1925), influenţa luminii a fost separată de cea a substanţei de creştere. Pornind de la aceste fapte, fiziologul rus N. Holodnîi a afirmat (1926) că toate tropismele provin dintr-o creştere inegală legată de o distribuţie inegală a hormonului. Went (1926—28) şi apoi Dolk (1929) au reuşit să capteze substanţa respectivă folosind metoda lor biologică de difuziune în agar care a deschis calea determinării calitative şi cantitative a hormonului. Went a dovedit că lumina modifică distribuţia auxinei, iar mai tîrziu, după Van der Weij (1932), că sensul de circulaţie a hormonului, de la vîrf spre bază, este legat de polaritatea organului; a fost recunoscut, totuşi, şi un anumit rol al gravitaţiei (Dolk). Acţiunea precisă a hormonului asupra alungirii celulare a fost pusă în evidenţă în experienţele lui A.N.J. Heyn (1931): hormonul măreşte plasticitatea (extensibilitatea ireversibilă) a peretelui primar, dar nu şi elasticitatea. Cercetările lui J. Bonner (1933), Commoner şi K.V. Thimann (1941) au dovedit că există o anumită legătură între creştere, pătrunderea apei în celulă şi procesul de respiraţie, care furnizează energia necesară creşterii. După 1942 se va stabili legătura (D.E. Reinders) între creşterea absorbţiei apei în celulă şi respiraţia acesteia. Se va dovedi faptul că creşterea nu se reduce la un simplu proces osmotic, ci că ea depinde şi de activitatea citoplasmei.

Prin aşa-numita metodă a testului *Avena* (ovăzului), elaborată de Went, hormonul a fost detectat în cele mai diferite plante şi, de asemenea, în cantitate mult mai mare, în urina umană. Izolarea și analiza acestei substanțe au fost realizate de biochimiștii olandezi F. Kögl, A.J. Haagen-Smit și H. Erxleben (1933—34).

Analizînd urina, acești savanți au reușit, după admirabile cercetări bazate pe folosirea metodelor de microanaliză, să identifice faimosul hormon, pe care l-au numit heteroauxină și care nu era altceva decît acidul 3-indol-acetic, descoperit încă din 1885, dar ale cărui proprietăți fiziologice încă nu erau cunoscute. Se părea că acest acid nu este singurul răspunzător de fenomenele observate. În realitate, Kögl și Haagen-Smit au descoperit două produse noi, foarte active, auxinele[1] *a* și *b*. Cercetările recente au confirmat că acidul indol-acetic, care a fost izolat în stare chimic pură, este într-adevăr hormonul coleoptilului gramineelor. Dimpotrivă, nu a fost dovedit încă rolul auxinelor *a* și *b* și nici măcar existența lor în plante.

ACIDUL INDOL-ACETIC ȘI PROPRIETĂȚILE LUI FIZIOLOGICE. Chiar înaintea identificării hormonului de creștere și de fabricarea lui industrială, acestuia i-au fost atribuite mai multe funcții, dar cercetările rămîneau destul de empirice. După 1934, știința auxinelor a cunoscut o amploare considerabilă și a dus rapid la o abundență de rezultate.

După 1930 au fost efectuate cercetări privind influența hormonului asupra creșterii rădăcinilor și inhibarea dezvoltării mugurilor. K.V. Thimann și Went au demonstrat că acidul indol-acetic provoacă înrădăcinarea butașilor, însă unele excepții constatate au relevat complexitatea problemei[2].

Pe de altă parte, Thimann și F. Skoog au stabilit (1934) că aceeași auxină, prezentă în mugurul terminal, controlează alungirea tulpinii sub acesta și inhibarea dezvoltării mugurilor laterali. F. Laibach și G. Mai au semnalat (1933) că prin tratarea frunzelor cu auxină se inhibă creșterea celulelor țesutului separator din pețiol, celule care condiționează căderea frunzelor; auxina acționează în funcție de condiții, provocînd sau împiedicînd căderea fructelor; dar și în acest caz problema este mult mai complexă[3].

Una din proprietățile esențiale ale auxinei este acțiunea ei în diviziunea celulară: înrădăcinarea butașilor, stimularea meristemelor etc. După 1935, experiențele lui R.Snow din Anglia au pus în evidență acțiunea auxinei asupra cambiului.

---

[1] Acest termen, creat de Kögl și Haagen-Smit, reprezintă acum acidul indol-acetic împreună cu tot grupul de hormoni mai mult sau mai puțin înrudiți. El va fi utilizat în acest sens în cele ce urmează.

[2] N. Sălăgeanu și I. Fabian (1958) și I. Fabian (1960), tratînd rădăcinile răsadului cu diferite heteroauxine, în scopul îmbunătățirii prinderii acestuia, au obținut o inhibare trecătoare a creșterii rădăcinilor, ceea ce a provocat o înrăutățire temporară a bilanțului de apă al răsadului. Ulterior, plantele provenite din răsad tratat au dobîndit însă un sistem radical mai dezvoltat și, datorită acestui fapt, au produs, în anumite condiții climatice, recolte sporite. — *L.A.*

[3] Prin tratarea cu heteroauxine, cercetători din țara noastră au obținut rezultate pozitive la înmulțirea prin butășire a plantelor lemnoase (H. Chirilei, 1952 și 1953); la împiedicarea căderii premature a capsulelor de bumbac (N. Sălăgeanu, Emilia Iliescu și Georgeta Fabian-Galan, 1957) și a merelor și perelor (H. Chirilei și M. Paraschiv, 1956). — *L.A.*

Produsă în mugurii apicali şi în frunzele tinere, auxina se deplasează în jos şi determină, primăvara, reluarea activităţii meristemului cambial. Gautheret a demonstrat (1935—39) că în cultura nelimitată a ţesuturilor vegetale auxina era aproape totdeauna necesară în doze infime (între 10^{-4} şi 10^{-9} g/l)[4].

Utilizarea acestei metode la studiul cancerizării a dus recent la apariţia unor concepţii noi asupra biologiei tumorii vegetale maligne, *crown-gall* (A. C. Braun şi White, 1943) cauzată de o bacterie, şi asupra proceselor tumorale în general (Gautheret, 1946, 1949). Ţesuturile canceroase s-ar deosebi de ţesuturile normale prin faptul că ele ar fi dobîndit calitatea de a sintetiza auxina; se pot obţine cancerizări spontane ale ţesuturilor normale prin culturi prelungite pe medii care conţin auxină.

Pe de altă parte, metoda culturii ţesuturilor se găseşte la baza a numeroase progrese în cunoaşterea diferenţierii ţesuturilor şi a organizării lor (E. Ball, 1946; G. Camus, 1949), precum şi a unui curios fenomen de întindere: dediferenţierea (R. Buvat, 1944).

MECANISME AUXINICE. Diverse cercetări au permis stabilirea faptului că un aminoacid, triptofanul, este precursorul auxinei, aceasta din urmă provenind prin oxidare enzimatică. Dispozitivele şi precursorul necesar acestei transformări se găsesc în vîrful coleoptilului de ovăz; activarea la lumină are loc prin intermediul unui pigment care ar putea fi o flavoproteină (A.W. Galston şi R.S. Baker, 1949). Se pare că un sistem enzimatic oxidazic, prezent în toate organele plantei, ar distruge surplusul de auxină. Cum pot fi însă explicate efectele atît de diferite ale acţiunii auxinice?

În realitate, mecanismele fundamentale rămîn necunoscute şi este probabil că multiplele acţiuni ale auxinei nu sînt decît manifestări secundare legate de natura ţesuturilor în care au loc.

FOTOPERIODISM. IAROVIZARE. Principiul fotoperiodismului a fost descoperit în 1920 de americanii W.W. Garner şi H.A. Allard care, într-un memoriu celebru, au arătat că reacţia plantelor la fotoperiodism, adică la durata relativă a zilelor şi a nopţilor, se exprimă în special prin comportarea lor legată de înflorire.

De atunci plantele au fost clasificate în trei mari categorii: „de zile scurte“ (crizanteme, napi porceşti), „de zile lungi“ (sfeclă, măselariţă), „indiferente“ (tomate, porumb).

În cazul primelor două categorii, înflorirea nu are loc decît peste sau sub o anumită durată critică de iluminare zilnică; în ceea ce priveşte categoria celor „indiferente“, lumina nu condiţionează în nici un mod capacitatea lor de înflorire. Aceste fapte se află la baza metodelor de inducție fotoperiodică ce au găsit o largă aplicație în horticultură. Experiențele lui K.C. Hammer și J. Bonner (1938) au dovedit că stimulul înfloririi apare în frunze; el este transportat de seva elaborată pînă în punctele în care se vor forma primordiile florale; acest stimul poate fi transmis prin altoire. Se consideră din ce în ce mai mult că în acest fenomen ar fi implicat direct un hormon de înflorire (florigen) sau un complex hormonal. Totuși extractele de plante în stare florală nu au nici un efect asupra organelor vegetative ale plantei. Nu se cunosc mai multe amănunte asupra legăturilor dintre hormon și auxină, al cărei rol a fost totuși stabilit. În plantele de zile lungi, stimulul pare mai complex. După cercetările lui A. Lang și G. Melchers (1943—48), se pare că factorii inhibitori ai înfloririi ar apărea în cursul nopților lungi; durata critică a zilelor poate fi micșorată prin scăderea temperaturii (frigul oprește inhibarea).

---

[4] N. Sălăgeanu (1945—1948) a constatat că la tulpinile plantelor volubile auxina este în cantitate mai mare la vîrf decît în lungul zonei de creştere iar în grosimea tulpinii auxina este mai concentrată pe faţa inferioară decît pe cea superioară, ceea ce se explică prin acţiunea gravitaţiei. Repartiţia inegală a auxinei în interiorul tulpinii determină intensităţi de creştere diferite. Astfel, la plantele volubile ce se încolăcesc spre stînga (zorele) auxina este în cantitate mai mare pe partea dreaptă, iar la plantele ce se încolăcesc spre dreapta *(Polygonum)*, invers. De aici rezultă că întotdeauna faţa convexă a tulpinii plantelor volubile este mai bogată în auxine libere active decît faţa concavă. Prin aceste cercetări s-a pus în evidenţă, pentru prima dată în literatura de specialitate, rolul auxinei în mişcările tulpinilor plantelor volubile. — *L.A.*

La anumite plante, înflorirea nu apare decît după expunerea mugurilor sau a plantulelor un anumit timp (mai multe săptămîni sau luni) la o temperatură joasă (0—5°C); este procesul de iarovizare folosit în agricultură după experiențele agrobiologului sovietic T.D. Lîsenko (1932).

În „teoria stadială“ a acestui autor, temperatura (termofaza) și lumina (fotofaza) condiționează capacitatea de înflorire. S-a dovedit că inducerea stimulului de iarovizare poate fi în anumite cazuri transmis prin altoire (G. Melchers, 1937).

În rezumat, temperatura și lumina au, printre alte efecte, și pe acela de a declanșa la anumite plante mecanismele de reglare care le fac capabile să înflorească în condiții favorabile.

În realitate, conform metodelor folosite de P. Chouard din 1935, aceste probleme sînt de o complexitate infinită dacă se aplică la un număr mare de specii și continuu în timp. Un lucru este sigur: aplicarea auxinei pe frunze nu induce starea florală, dar poate inhiba înflorirea. Mai mult chiar, existența unor reacții de creștere la fotoperiodism (Chouard) dovedește că există legături între mecanismul auxinic și înflorire[5].

Numeroase teorii au încercat să explice fenomenele de inducție a stării florale; pluralitatea lor dovedește că rămîne un drum lung de parcurs în această direcție.

Una dintre ultimele realizări din acest domeniu (H.A. Borthwick, 1952—60) se referă la analiza în lumină monocromatică a fotoperiodismului. Ea a dus la stabilirea existenței unui pigment, fitocromul, care ar avea două forme absorbante în domeniul roșu la 660 mμ și respectiv 730 mμ și ale căror efecte sînt opuse în ceea ce privește diferențierea primordiilor florale. S-a mai făcut, de asemenea, apel la această noțiune de fotoreacție reversibilă pentru a ține seama de anumite fenomene de creștere asociate cu ofilirea (creșterea în lipsa luminii) sau cu germinarea[6].

---

[5] Determinînd durata stadiului de lumină la unele cereale de primăvară de zi lungă, N. Sălăgeanu, H. Chirilei și Emilia Iliescu (1952 și 1953) au constatat că micșorarea numărului zilelor lungi, necesare parcurgerii stadiului, are ca efect o intensificare a procesului de înfrățire și o grăbire a ritmului de creștere a rădăcinilor. — *L.A.*

[6] La inflorescențele tratate cu heteroauxine, H. Chirilei, (1952), apoi N. Sălăgeanu și H. Chirilei (1953) au obținut o sporire a recoltei fructelor de tomate, îmbunătățirea calității acestora și o micșorare a numărului de semințe din fructe. — *L.A.*

DEZVOLTAREA FRUCTULUI. PARTENOCARPIA. Polenizarea este necesară în general dezvoltării florii şi fructului. În 1936, F.G. Gustafson a obţinut un mare succes reuşind să provoace dezvoltarea fructului pînă la maturitate prin aplicarea auxinei pe ovare nepolenizate; s-au obţinut, astfel, fructe fără seminţe numite partenocarpice (tomate, struguri, smochine).

Auxina este adusă în mod normal în ovul de către polen şi se consideră că polenizarea stimulează producerea auxinei de către ovar (Muir, 1942). Experienţele lui J.P. Nitsch (1950) au confirmat funcţia auxinică a seminţelor în dezvoltarea fructului la fragi. În sămînţa de ovăz, sinteza auxinei are loc iniţial în albumen şi apoi în embrion (L.C. Luckwill, 1953). Nu se cunoaşte nimic despre sistemul enzimatic din care provine auxina şi care nu reprezintă, dealtminteri, decît unul dintre factorii dezvoltării (după cum au dovedit experienţele cu culturi de ovare extirpate). Maturaţia fructelor reprezintă o altă fază, foarte puţin cunoscută. Faptul cel mai evident din acest punct de vedere l-a constituit descoperirea efectului etilenului (F.E. Denny, 1922) utilizat astăzi curent în maturaţia artificială[7].

NOI AUXINE SINTETICE ŞI HORMONI. Cercetarea substanţelor sintetice înrudite chimic cu acidul indol-acetic a dus la un studiu general al legăturilor dintre structura chimică şi proprietăţile fiziologice. În acest scop a fost necesară stabilirea unei metode de verificare legată strict de efectul auxinic direct.

Au fost evidenţiate cîteva reguli care au servit drept ghid în selectarea a mii de substanţe pentru verificat. Dar nici una dintre teoriile elaborate pentru a explica aceste fapte nu a rezistat în mod absolut în faţa lor: astfel, printre altele, necesitatea unui nucleu ciclic, care părea bine stabilită, s-a dovedit în ultimul timp îndoielnică.

Au fost totuşi reţinute diverse substanţe. Unele, descoperite de mult timp, posedă toate proprietăţile acidului indol-acetic (acizii indol-butiric şi α-naftalen-acetic). Alţi acizi (acidul triiodo-benzoic) au o comportare ciudată: singuri, sînt inactivi; adăugaţi auxinei, îi măresc sau îi anulează efectul, în funcţie de doză.

Aceste cercetări au avut aplicaţii decisive asupra orientării horticulturii şi agriculturii. În acest mod s-a născut industria ierbicidelor selective cunoscute mai ales din grupul 2,4-D (acidul 2,4-diclorofenoxiacetic).

Principiul acestora este simplu: la o anumită concentraţie, acidul 2,4-D acţionează ca şi acidul indol-acetic; la o concentraţie mai mare, el devine toxic pentru majoritatea plantelor, cu excepţia gramineelor şi a plantelor înrudite; aceasta a îngăduit utilizarea sa în cultura cerealelor şi a trestiei de zahăr. Se fac eforturi pentru a se descoperi ierbicide selective pentru fiecare cultură.

Un alt rezultat şi mai spectaculos l-a constituit descoperirea controlului chimic al înfloririi ananasului (J. van Overbeek, 1944-46).

---

[7] Folosind ca stimulator gazele etilen şi propilen, N. Sălăgeanu (1951, 1953) a obţinut rezultate pozitive în procesul de grăbire a coacerii unor fructe: tomate, caise şi piersici. Aceeaşi problemă a fost studiată de O. Boldor (1956, 1960), care a urmărit efectul stimulator al etilenului, al stirenului şi metacrilatului de metil asupra accelerării procesului de coacere la tomate, caise, piersici, pere şi prune. — *Nota red. rom.*

După 6—8 săptămîni de la tratarea cu acidul α-naftalen-acetic, planta îşi dezvoltă florile. Cultura industrială contemporană de ananas se bazează pe această metodă, asociată cu cea a ierbicidelor selective şi cu alte procedee foarte perfecţionate. Au fost iniţiate programe de cercetări sistematice legate de inducţia şi inhibiţia chimică a înfloririi, legate în parte de aplicaţii propuse.

Inducerea chimică a înfloririi a fost obţinută, de asemenea, şi la un anumit număr de plante de zi lungă în afara regulilor fotoperiodice, prin tratarea cu una dintre gibereline, şi anume cu acidul giberelic; această substanţă, extrasă dintr-o ciupercă de sol, este fabricată astăzi în stare pură, în urma cercetărilor dificile efectuate mai ales de savanţii japonezi E. Kurosawa (1926), T. Yabuta şi T. Hayaschy (1939), precum şi de colective de biochimişti japonezi, englezi şi americani (1953—55).

Există, desigur, legături între gibereline şi florigeni, dar problema, fiind foarte complexă, nu a fost lămurită; fapt curios, giberelina nu acţionează asupra plantelor de zi scurtă, în timp ce acţiunea florigenului pare a fi aceeaşi la ambele categorii de plante (experienţe de altoire).

Pe lîngă gibereline, a căror prezenţă în plantele superioare a fost stabilită, diverse alte substanţe au atras atenţia în cursul ultimilor ani. Kinetina, derivată din adenină, izolată din ADN-ul spermei de hering (Skoog, 1956), stimulează diviziunea celulară la tutun şi proliferarea tumorilor. J. van Overbeek şi A.F. Blakeslee au descoperit (1941) că laptele de cocos stimulează creşterea anumitor embrioni. Biochimiştii de la *Cornell University*, care au abordat analiza acestei substanţe, au reuşit să identifice patru componente cu efect auxinic, printre care şi difenil-ureea (F.C. Steward şi E.M. Shantz, 1956); aceasta reprezintă o cale importantă a cercetărilor întreprinse asupra derivaţilor ureei.

Expunerea acestor fapte dovedeşte că ştiinţa hormonilor este în plină evoluţie. Sînt de aşteptat progrese foarte rapide în analiza mecanismelor care intervin în creştere şi în dezvoltare. Iar orice progres în cunoaşterea acestor fapte poate avea consecinţe de o extremă importanţă teoretică şi practică. S-au şi stabilit unele legături între respiraţie şi creştere iar pe de altă parte, se încearcă chiar elaborarea unei teorii generale a acţiunii auxinice (ipotezele lui Veldstra, W.H. Muir şi J. Bonner etc). Domeniul aplicaţiilor economice creşte în fiecare zi. Problema tumorilor maligne poate fi abordată şi din această direcţie; dacă, aşa cum consideră Steward, creşterea trebuie concepută ca un echilibru între stimulatori şi inhibitori, rezultă că o anumită dezorganizare poate duce la creşteri şi proliferări monstruoase.

B. TEORIA RESPIRAŢIEI

La sfîrşitul secolului al XIX-lea sensul cercetărilor care aveau să ducă la o concepţie modernă era clar delimitat şi încă din 1925 s-au putut schiţa trei teorii care constituie cadrul şi principiile de bază ale acestora. Respiraţia celulară a fost înţeleasă în natura sa profundă, la nivelul problemei generale a oxidărilor biologice (teoriile lui Warburg şi ale lui Wieland) şi în legăturile sale cu fermentaţiile. Acestor cunoştinţe le lipsea totuşi o noţiune esenţială pe care cercetările recente au pus-o în evidenţă şi pe care au admis-o drept una dintre principalele lor preocupări, şi anume a rolului energetic jucat de fosforilări. De asemenea, şi teoria de ansamblu s-a dezvoltat considerabil: a fost pus accentul pe respiraţie ca mecanism producător al substanţelor de bază ale marilor biosinteze[8].

OXIDĂRILE BIOLOGICE. Respiraţia nu reprezintă o ardere, iar Claude Bernard şi-a dat perfect seama de acest fapt cînd a vorbit despre echivalentul arderii. În realitate şi în mod foarte evident, procesul are loc la o temperatură puţin ridicată şi cu concursul necesar al materiei vii. Expresia globală clasică $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$, care explică componenţii iniţiali şi finali ai procesului, nu furnizează date asupra naturii etapelor intermediare şi asupra mecanismelor.

Destul de rapid s-au acumulat două noţiuni: nu există oxidare directă a substratului de către oxigenul din aer, ci o fragmentare a moleculelor organice într-o serie lungă de reacţii catalizate de anumite enzime (A.N. Bach, 1897). Dar cum au loc aceste oxidări?

Mult timp învăluită în mister, această problemă a fost, în sfîrşit, înţeleasă în urma a două serii de cercetări magistrale datorite, pe de o parte, lui H. Wieland-T. Thunberg (1912—20) şi, pe de alta, lui O. Warburg-D. Keilin (1921—49). Încă din 1926, H.J. Donker şi A.J. Kluijver au considerat posibilă o sinteză între teoriile aparent contradictorii ale celor doi savanţi; această sinteză a fost practic realizată în preajma anului 1940.

WARBURG ŞI ACTIVAREA OXIGENULUI. Savant german de o genialitate profundă şi puternică, Otto Warburg a primit Premiul Nobel în 1931; cercetările sale asupra metabolismului celular au deschis numeroase perspective. Lui i se datoreşte mai ales punerea la punct, după J. Barcroft şi J.B.S. Haldane (1902), a unei metode clasice de studiu manometric al schimburilor gazoase care a adus cele mai mari servicii. Tot el este cel care a stabilit rolul esenţial al metalelor grele în calitate de biocatalizatori şi a demonstrat caracterul eronat al teoriei enzimelor, considerate drept substanţe organice pure. Warburg a dovedit că oxigenul molecular nu putea fi folosit de celule decît după activarea (transformarea în oxigen atomic) de către o enzimă respiratorie şi că aceasta trebuia să fie o proteină avînd la bază fier, adică o hemoproteină.

---

[8] Cercetătorul român N.T. Deleanu, autorul unor contribuţii substanţiale la explicarea respiraţiei plantelor, foarte frecvent şi favorabil citate în literatura mondială de specialitate, a descoperit, împreună cu A. Meyer, ritmicitatea diurnă a intensităţii respiraţiei la frunze (1911—1913), arătînd că intensitatea ridicată din timpul zilei se datoreşte substanţelor organice formate prin fotosinteză. Mai recent, I. Popescu (1965) a stabilit că ritmicitatea nictemerală a intensităţii respiraţiei este proprie şi celorlalte organe ale plantelor, fenomenul avînd un caracter general. — *L.A.*

În realitate, problemele rezolvate de opera lui Warburg au fost ridicate de aproape un secol. Încă din 1820, E. Davy a obținut, prin cataliza negrului de platină, oxidarea aerobă a etanolului în acid acetic; Berzelius a asemănat această oxidare la temperatură joasă cu fermentarea acetică, ce se datorește unei bacterii: în primul caz este vorba de o „enzimă anorganică“, iar în celălalt caz, de o „enzimă organică“.

Unul dintre marile succese ale lui Warburg l-a constituit inventarea, după Davy, a unui nou sistem artificial de respirație, un „model respirator“ perfecționat, care a permis aprofundarea cunoașterii rolului catalitic al metalelor grele, și în special al fierului, pe care l-au pus în evidență experiențele sale asupra respirației ovulelor de arici-de-mare.

El a considerat că fierul, metal greu ca și platina, ar putea, la fel ca aceasta, să constituie obiectul unei schimbări de valență și, avînd avantajul decisiv de a fi prezent în celula vie, să constituie agentul exclusiv al enzimei. El a demonstrat această ipoteză printr-o serie de experiențe rămase celebre, care l-au dus la descoperirea capitală a enzimei respiratorii[9].

Se știa de mult timp că la întuneric oxidul de carbon scoate oxigenul din hemoglobina sîngelui și că această reacție este reversibilă la lumină. Faptul că respirația drojdiilor și a anumitor bacterii este inhibată de oxidul de carbon la întuneric și reluată la lumină aduce un puternic sprijin în favoarea naturii hemice a componentei active a enzimei. Cu ajutorul unei metode elegante, bazată pe studiul comparativ al spectrelor optice și fotochimice, Warburg a demonstrat justețea acestei concepții.

În „modelul respirator“ al lui Warburg (în care catalizatorul este un complex azot-fier, derivat al heminei) ca și în celula vie, fierul în stare feroasă este cel care catalizează oxidarea. Există și autooxidare, adică oxidare spontană în prezența oxigenului atmosferic: fierul feros devine trivalent (feric) și cedează un electron oxigenului (aici oxidarea constă nu în dehidrogenare, ci în pierderea unui electron).

KEILIN ȘI DESCOPERIREA CITOCROMILOR. Ipoteza lui Warburg a primit un sprijin decisiv din partea englezului D. Keilin care, în 1925, a redescoperit citocromii, pigmenți detectați în mușchii insectelor, încă din 1886, de către McMunn. În 1939, Keilin și E.F. Hartree au stabilit faptul că citocromul a_3 avea toate proprietățile fermentului respirator al lui Warburg pe care l-au denumit citocromoxidază.

În primele sale cercetări, Keilin a recunoscut și definit trei citocromi (*a*, *b*, *c*) și le-a atribuit un rol intermediar în procesele respiratorii. Acești pigmenți, „comuni animalelor, drojdiilor (levuri) și plantelor superioare“, sînt hemoproteine ca și hemoglobina: atomul de fier este integrat într-un complex structural (nucleu tetrapirolic) legat de proteină. Citocromii *c* (izolați și studiați în 1937—39 de H. Theorell), *a* și a_3 sînt distribuiți în toate celulele vii aerobe, asigurînd transmiterea electronilor și protonilor. Citocromul *b*, larg răspîndit în majoritatea țesuturilor vegetale, este mult mai puțin cunoscut. S-au mai izolat și alți citocromi, ca citocromul a_1, citocromul *f* (care se găsește numai în plante) ș.a.

---

[9] Istoricul enzimologiei este expus de R. Kehl (pag. 621—624).

Iată cum se prezintă procesul: citocromul *c* feric oxidează o flavoproteină redusă și devine feros prin cîștigarea unui electron, cu care ocazie 2H sînt eliberați și ionizați ($H \rightleftharpoons H^+ + e$); nefiind autooxidabil, citocromul *c* se reoxidează prin intermediul citocromului *a*, care, de asemenea, nu este autooxidabil, și al citocromoxidazei. În sfîrșit, enzima autooxidabilă în starea feroasă, citocromoxidaza, se reoxidează și ea direct cu oxigenul molecular care este activat prin primirea a doi electroni, conform schemei lui Warburg $\left(2Fe^{++} + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow 2Fe^{+++} + O^{--}\right)$; are loc și producerea apei ($2H^+ + O^{--} \rightarrow H_2O$).

Anumiți fermenți, alții decît hemoproteinele, au proprietatea de a activa oxigenul, și mai ales oxidaza acidului ascorbic (Szent-Györgyi, 1931), glucozoxidaza (D. Muller, 1925), catecholoxidaza (Wheldale, 1910). H. Lundegårdh (1955) a arătat că citocromul *b* poate, de asemenea, juca rolul de oxidază.

La cealaltă extremitate a procesului, etapele inițiale ale degradării au fost lămurite prin lucrările lui Wieland și ale școlii sale.

OXIDĂRILE PRIN DEHIDROGENARE. DEHIDROGENAZELE. Heinrich Wieland a descoperit încă din 1912 că oxidarea benzaldehidei în acid benzoic se poate obține în absența totală a oxigenului molecular, dar în prezența apei; reacția este catalizată de platina coloidală care fixează cei doi atomi de hidrogen smulși moleculei de benzaldehidă hidratată. În continuare, teoria oxidării prin dehidrogenare a fost generalizată și extinsă la organismele animale și vegetale (mușchi, bacterii, drojdii, plante superioare). Aceasta constituie o dehidrogenare care intervine în oxidarea alcoolului etilic în acid acetic efectuată de o bacterie (Wieland, 1913). După descoperirea de către Thunberg (1917) a unei dehidrogenaze specifice (al cărui acceptor natural ar fi citocromul *b*), pentru care albastrul de metilen a fost folosit ca acceptor artificial de hidrogen, au fost identificate peste 40 dehidrogenaze. Acestea sînt cuplate cu acceptori de hidrogen (într-un număr mic): DPN, flavoproteine sau, în anumite cazuri, un citocrom sau TPN; dehidrogenaza este însă cea care dă specificitatea sa reacției.

Se poate schița acum principiul oxidării respiratorii; o dehidrogenază specifică captează 2H smulși din substrat și trece în forma redusă; ea va fi apoi reoxidată de către o flavoproteină care, astfel, se reduce la rîndul ei. În continuare apar citocromii a căror funcție a fost indicată mai sus. Un mecanism complicat, cunoscut sub denumirea de transfer de electroni (dehidrogenază → flavoproteine → citocromi → citocromoxidază), stabilește o succesiune de legături pentru protoni și electroni în cursul dehidrogenării în faza aerobă a respirației, iar această succesiune duce în cele din urmă la arderea hidrogenului, în timp ce fluxul de electroni este asigurat de faptul că potențialele de oxidoreducere sînt din ce în ce mai ridicate, pînă la oxigen. Aceste sisteme de transferuri sau de lanțuri respiratorii eliberează o foarte mare cantitate de energie, iar celulele dispun de mecanisme speciale pentru acumularea ei ca rezervă. Această problemă esențială va fi reluată mai jos.

Teoria lui Wieland, dezvoltată de Thunberg (1916—20), a dat o extensie considerabilă noțiunii de respirație. În acest proces, oxigenul din aerul inhalat joacă, după activare, rolul de acceptor definitiv al hidrogenului, furnizînd apă, iar acest hidrogen este obținut din moleculele organice. Se știe acum că CO_2 degajat provine din decarboxilări, prin urmare din descompunerea şi transformările moleculelor organice. Semnificaţia esenţială a respiraţiei constă în mecanismele de mobilizare a energiei utilizabile, „mărunţişul“ energetic, cum l-a numit Szent-Györgyi; rolul respiraţiei este, de asemenea, de a produce compuşi carbonaţi foarte diverşi (cu unul sau mai mulţi atomi de C), baza marilor biosinteze.

FERMENTAŢIA ALCOOLICĂ. Se admite drept ipoteză foarte probabilă faptul că fermentaţia alcoolică şi respiraţia anaerobă pot fi asimilate esenţial una alteia şi că respiraţia normală a vegetalelor are loc în două faze, de obicei succesive, una anaerobă şi alta aerobă (teoria lui Pfeffer-Palladin-Kostâcev, 1888—1920). Astfel, fermentaţia alcoolică şi respiraţia s-ar desfăşura iniţial identic, apoi s-ar deosebi după cum oxigenul intervine sau nu: în primul caz apar alcoolul şi CO_2, iar în celălalt, apa şi CO_2. În prezenţa unor mici concentraţii de oxigen, cele două procese se pot manifesta simultan.

În cazul cel mai simplu în care substratul este glucoza ($C_6H_{12}O_6$) şi nu o glucidă mai complexă ori o lipidă sau o proteină, sînt necesare cel puţin 13 etape mari pentru a se realiza procesul general cunoscut sub denumirea de schema lui Embden-Meyerhof-Parnas, sau *E.M.P.*

Iniţial are loc glicoliza în sensul general (care evoluează de la glucoză la acidul piruvic), caracterizată în special prin reacţii de *fosforilare*; se trece apoi prin etapele glucoză-6-fosfat sau esterul lui Robinson, fructoză-6-fosfat sau esterul lui Neuberg şi fructoză-1, 6-difosfat sau esterul lui Harden şi Young (esterificări pe carbonii 1 şi 6). Urmează apoi ruperea (glicoliza *stricto sensu*) lanţului glucidic în 2 triozofosfaţi (glucide cu C_3): aceasta reprezintă prima fragmentare a moleculei iniţiale (A.I. Virtanen, 1924 etc.).

Reacţiile care urmează sînt foarte importante, deoarece exact la acest nivel este introdus fosfatul mineral necesar elaborării acidului difosfogliceric (substanţă cu C_3); cu alte cuvinte, are loc o transformare a fosfatului mineral în fosfat organic (Warburg şi Christian; Negelein şi Brömel, 1939). Fosforul joacă însă un rol primordial în orice metabolism celular şi mai ales sub formă de esteri ai *ozelor* acidului ortofosforic (PO_4H_3). În acest caz, oxidarea triozofosfatului printr-o dehidrogenază (DPN) eliberează energie care este în mare parte „captată“ prin fosforilare. Operaţia următoare constă în transferarea în condiţii optime a energiei acumulate pe o substanţă pe care va fi înmagazinată pentru utilizări ulterioare; această substanţă este adenozindifosfatul sau ADP, care se transformă în ATP sau adenozintrifosfat (acidul adeniltrifosforic izolat din ţesuturile plantelor în 1950 de către H.C. Albaum etc.) (K. Lohmann şi Meyerhof, 1928—35). Acidul adenilic sau adenozinmonofosfatul sau AMP-ul, ADP, ATP sînt, ca şi CoA şi coenzimele I (APa) şi II (TPa), esteri fosforici ai adenozinei (iar adenozina este o riboză legată de o bază azotată a grupului purinelor, şi anume adenina); ei se deosebesc prin numărul de molecule fosforice fixate. Cercetările lui F. Lipmann (1941) au arătat importanţa capitală a compuşilor fosforilaţi în calitate de fixatori sau transportori de energie disponibilă; acestui savant i se datoreşte deosebirea, devenită clasică, dintre legăturile bogate şi cele sărace în energie[10]. În fosfaţii organici cum sînt hexozofosfaţii şi AMP-ul în care grupul fosfat este legat de funcţia alcool, legătura este de tip sărac (2000—4000 cal/mol); dimpotrivă, în diverse alte situaţii şi în special între două grupuri fosfatice, cum este cazul în ADP şi ATP (10 000—14 000 cal/mol) legătura este bogată (fiind indicată prin semnul ~). Harden şi Young (1905) au fost primii care au pus în evidenţă participarea fosfatului mineral la acţiunea zimazei extrase din drojdii şi care au descoperit hexozofosfaţii. În legătură cu aceste cercetări, Embden (1915) şi Meyerhof au făcut primele lor observaţii importante asupra metabolismului ţesuturilor animale.

---

[10] În legătură cu aceasta, vezi nota 27 de la pag. 625.

După transferul enzimatic al unui fosfat asupra ADP-ului se formează acidul 3-fosfogliceric; după o izomerizare apare acidul 2-fosfogliceric. Glicoliza are loc printr-o deshidratare (acid fosfoenolpiruvic) şi printr-o defosforilare finală: în felul acesta este produs acidul piruvic (CH_3CO-$COOH$).

După glicoliză are loc decarboxilarea acidului piruvic (datorită unei cocarboxilaze), eliberarea de CO_2 şi producerea acetaldehidei (CH_3CHO) (substanţă intermediară descoperită de C. Neuberg, 1911, prin blocarea lanţului enzimatic) şi apoi, prin reducerea acestei ultime substanţe, apare alcool etilic (CH_3CH_2OH). Pornit de la o substanţă cu C_6, acest proces duce la substanţe cu C_1 şi C_2. În cazul fermentaţiei alcoolice, fiecare oxidare completă a unei molecule de glucoză are drept rezultat reîncărcarea a două molecule de ADP, pornind de la acidul ortofosforic *mineral*, şi transformarea lor în ATP; se obţine, astfel, un compus organic difosforilat macroergic şi se înmagazinează o energie disponibilă de ordinul a 25 000 cal.

Deşi mult simplificată, deoarece omite orice considerente asupra mecanismelor, cineticii şi enzimelor, această schemă dovedeşte complexitatea fenomenelor. A fost necesară o jumătate de secol de eforturi stăruitoare din partea unor numeroase colective de savanţi pentru a se ajunge la starea actuală a cunoştinţelor noastre. Rezultatele obţinute sînt atît de precise, încît majoritatea reacţiilor au fost realizate *in vitro* prin folosirea unor extracte celulare sau a unor enzime purificate.

În urma observaţiilor lui Lipmann (1936) şi Warburg, o serie de cercetări recente (E. Racker, 1948—54; D.B. McN. Scott şi S. Cohen, B.L. Horecker etc., 1951) au dovedit că glucozo-6-fosfatul poate fi degradat în triofosfaţi, după un proces diferit faţă de schema E.M.P.: acest proces este denumit „shunt“ de autorii anglo-saxoni, sau „shuntul pentozofosfaţilor“, sau ciclul lui Horecker; unul dintre intermediarii acestui proces ar fi un glucid cu C_7, sedoheptulozo-7-fosfat. Sînt posibile şi alte căi (N. Entner şi M. Doudoroff, 1952). Ciclul lui Horecker intervine mai ales în mecanismele de asimilare a carbonului (regenerarea ciclului lui Calvin).

FAZA AEROBĂ A RESPIRAŢIEI: CICLUL LUI KREBS. Se consideră că respiraţia plantelor superioare confirmă în mod general teoria stabilită de marele biochimist englez Krebs pentru regnul animal şi cunoscută sub numele de ciclul lui Krebs sau ciclul acidului citric (Krebs şi W. A. Johnson, 1937) (vezi pag. 627).

Cercetările lui Krebs se bazau îndeosebi pe utilizarea, conform metodei lui Neuberg (1911), a unor inhibitori specifici, cum ar fi acidul malonic, care blochează cataliza enzimatică într-un anumit punct al ciclului, inhibînd respiraţia. De atunci, o serie de experienţe, bazate pe metoda radioizotopilor, au confirmat faptul că atomii de carbon ai acidului piruvic sînt într-adevăr încorporaţi în acizii ciclului. Numeroşi acizi intermediari au fost identificaţi la plante, în care unii se acumulează chiar în cantităţi importante (acizii malic, citric, oxalic); de cîţiva ani se cunoaşte că acidul piruvic apare ca intermediar la drojdii şi la plantele superioare (G.M. şi W.O. James, 1940). S-a dovedit acum faptul că ciclul lui Krebs funcţionează la plante (A. Millerd, 1951; D.O. Brummond şi R.H. Burris, 1953; etc.). De asemenea, au fost descoperite numeroase sisteme enzimatice comune (aconitaza, dehidrogenaze izocitrice, succinice, malice; fumaraza şi oxidaze, cum ar fi catecholoxidaza, ascorbicoxidaza, glucozoxidaza).

În prezent, un deosebit efort depun fitofiziologii în studierea ciclului Krebs. Totuşi, aceste cercetări nu au loc fără controverse, deoarece nu se cunoaşte importanţa exactă a rolului jucat de acest ciclu — care constituie, fără îndoială, principala cale a respiraţiei aerobe — la plante; mecanismele înseşi ale respiraţiei şi legăturile cu înmagazinarea energiei libere sînt încă necunoscute, cel puţin în privinţa naturii lor profunde. Desigur, este vorba în esenţă de o cuplare de tipul oxidoreducere-fosforilare, dar aceasta reprezintă un nou capitol al ştiinţei contemporane.

FOSFORILĂRILE OXIDATIVE. Astfel este denumită cuplarea fosforilărilor cu reacţiile oxidative (reoxidări ale $DPNH_2$, $TPNH_2$ etc. prin O_2). Deşi sînt necesare 40—50 de reacţii pentru a ajunge la ultima etapă a procesului respirator, totuşi aproape toată energia liberă este produsă în faza aerobă; această energie este de circa 700 000 cal, din care o parte se pierde sub formă de căldură, iar cealaltă este înmagazinată pentru a fi folosită la creştere, la sinteze, la activitatea osmotică etc.; această fază consumă 10 atomi de oxigen din cei 12 necesari oxidării unei molecule de glucoză (ceilalţi 2 atomi sînt utilizaţi în oxidarea a $2DPNH_2$ care provin din glicoliză). S-ar putea considera în aceste condiţii că sistemele de acumulare şi de transfer al energiei utilizate de celulă ar trebui să funcţioneze în special în faza aerobă.

Descoperirile decisive asupra acestei probleme se datoresc cercetărilor lui H. M. Kalckar (1930), V. A. Belitzer şi E. T. Tibakowa (1937—39) şi S. Ochoa (1941)[11]: există cuplări între fosforilări şi sistemele de transfer ale electronilor din lanţurile respiratorii.

Cercetările lui Warburg şi Negelein (1931) au lămurit principiul fosforilării *la nivelul substratului* şi au dovedit că aceasta este anaerobă (cazul sintezei ATP-ului cuplată cu oxidarea aldehidei fosfoglicerice de către DPN în cadrul glicolizei).

Fosforilările oxidative se situează *între substrat şi oxigen* în lanţul respirator (în special DPN → flavoproteină → citocromii $b \rightarrow c \rightarrow a_3 \rightarrow O_2$); ele sînt, deci, aerobe. La un anumit nivel al ciclului (acidul α- cetoglutaric) ar putea avea loc patru fosforilări în cursul trecerii unei singure perechi de electroni (E.C. Slater, 1957), dar acestea ar fi dealtfel şi mai puţin numeroase (două-trei)[12]. Nu este cunoscut deloc[13] mecanismul, dar se consideră că 20 pînă la 40 de molecule de ATP ar putea astfel să înmagazineze o mare parte din energia produsă în lanţurile respiratorii (pînă la 400 000 cal pentru două molecule de acid piruvic) prin conversia fosfatului mineral, ceea ce reprezintă un randament de circa 60%.

---

[11] Primele contribuţii valoroase se datoresc lui W.A. Engelhardt (1930). — *V.E.*

Recent au putut fi localizate oxidările aerobe şi mai ales cele ale $DPNH_2$, care duc la sinteza ATP-ului în mitocondriile animale (A. L. Lehninger, 1951), precum şi la plantele superioare (A. Miller, J. Bonner etc., 1951; G. G. Laties, 1953). Dealtfel, s-a dovedit că citocromoxidaza nu se întîlneşte decît în mitocondrii. Deci sediul respiraţiei aerobe se găseşte în aceste organite celulare.

C. TEORIA FOTOSINTEZEI

Teoria fotosintezei se datoreşte, poate mai mult decît cea a respiraţiei, remarcabilelor metode contemporane: marcarea cu izotopi şi cromatografia de separare pe hîrtie. Apariţia lor în perioada 1937—1941 a reprezentat o cotitură fundamentală. Dealtminteri, această teorie se bazează în cea mai mare parte pe cunoştinţele acumulate asupra respiraţiei. Încă de la începutul secolului a fost realizată o muncă enormă, ilustrată de o serie de lucrări, dintre care multe au devenit clasice, precum şi de geniul calm sau impetuos al unui Willstätter sau al unui Warburg; astfel au fost puse o serie de probleme, s-au evidenţiat şi au fost promovate noi direcţii de cercetare.

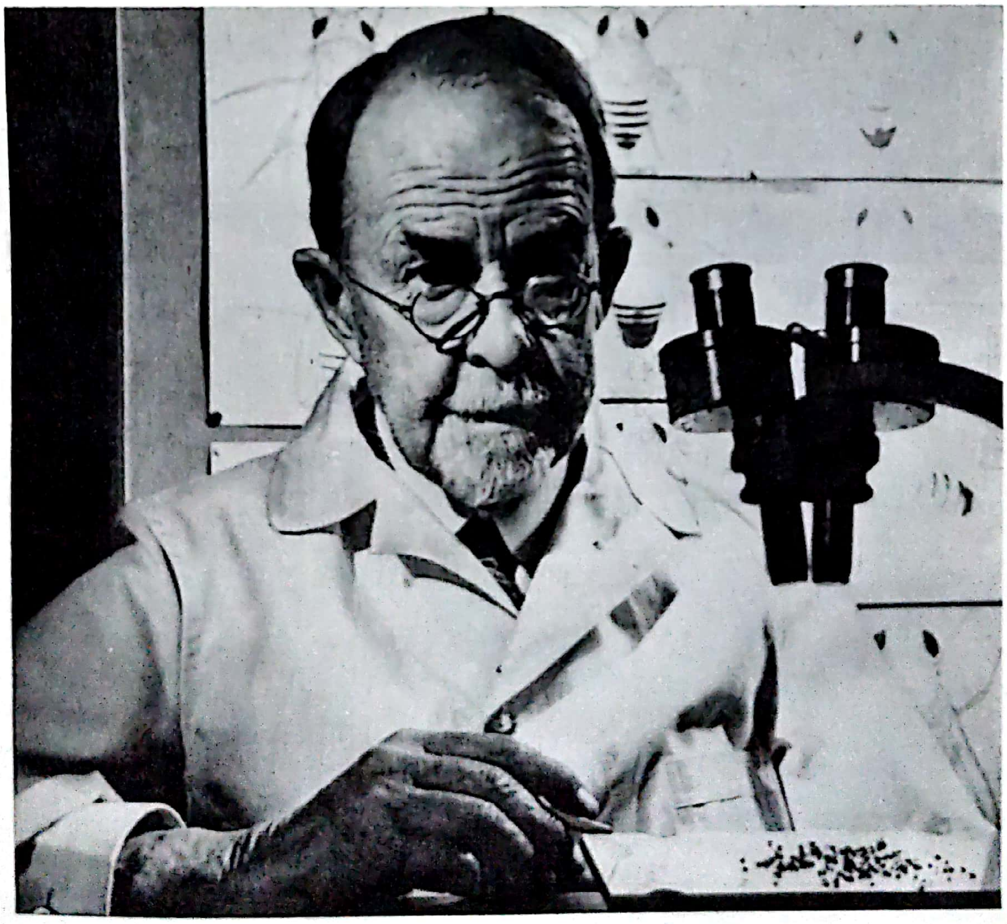
Noua eră, anunţată de admirabilele lucrări ale lui Van Niel în biochimia comparativă (1931—35), şi-a făurit apoi uneltele sale. Experienţele biochimistului englez R. Hill (1937) şi ale lui Hill şi R. Scarisbrick (1940) au pus în evidenţă degajarea oxigenului, sub acţiunea luminii la o suspensie de cloroplaste izolate sau chiar la unele fragmente ale lor în prezenţa unui acceptor de hidrogen. Aceste rezultate, schiţate încă într-o serie de cercetări mai vechi (Beijerinck; H. Friedel, 1901; H. Molisch, 1925), au inaugurat una dintre ramurile cele mai active şi cele mai complexe ale cercetărilor contemporane; ele aveau să ducă la marile descoperiri ale şcolilor lui S. Ochoa şi D. I. Arnon. Între 1939 şi 1941, folosind metoda trasorilor radioactivi (C^{11}, C^{14}, O^{18}), americanul S. Ruben şi colectivul său (W. Z. Hassid, M. D. Kamen, M. Randall, J. L. Hyde) au obţinut progrese decisive în cunoaşterea acestora.

---

[12] În funcţie de substratul oxidat. — *V.E.*

[13] Fenomenul nu este definitiv elucidat, dar s-au formulat cîteva ipoteze bine argumentate. — *V.E.*

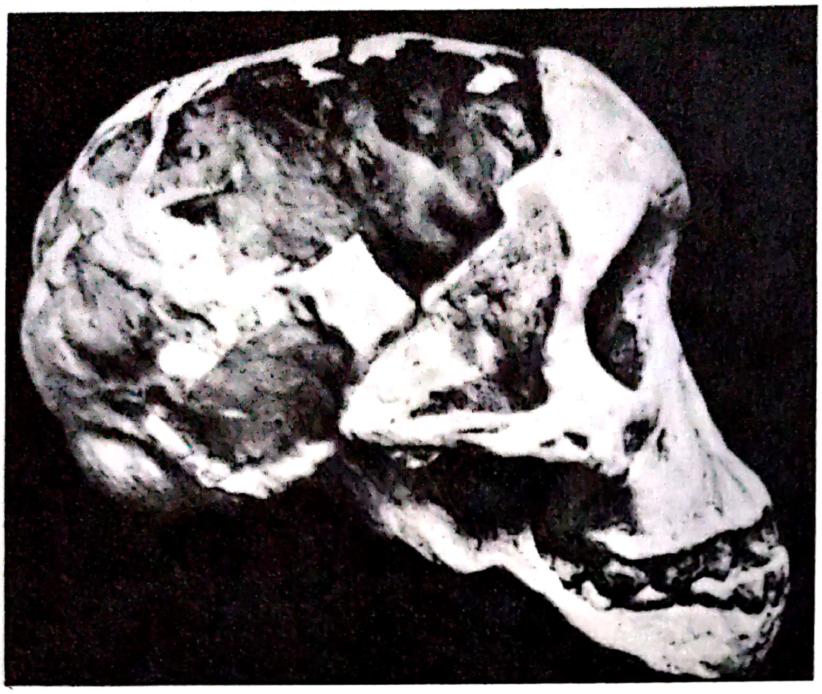
1

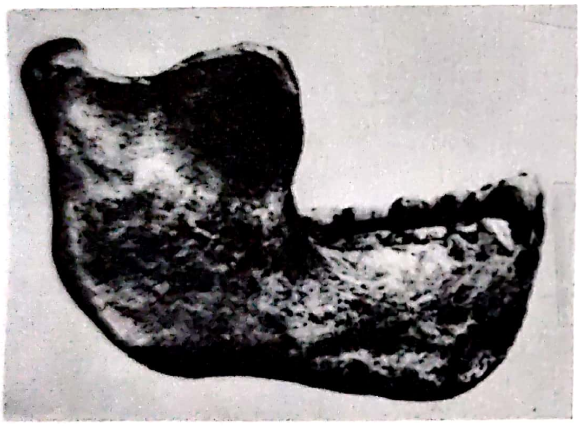


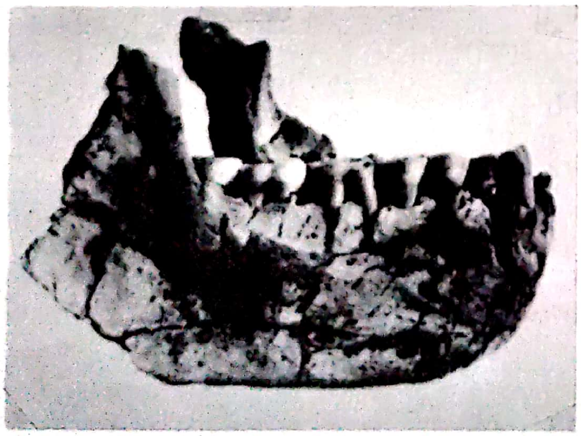
2

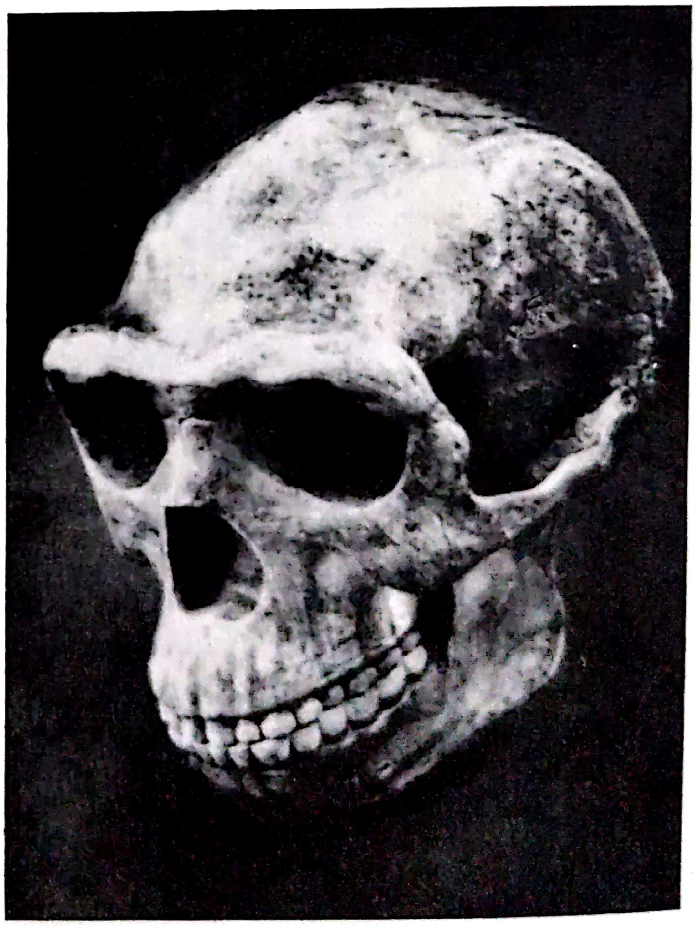
49. GENETICIENII H. DE VRIES ŞI TH. H. MORGAN

50. FOSILE DE AUSTRALOPITEC
ŞI DE PITECANTROP

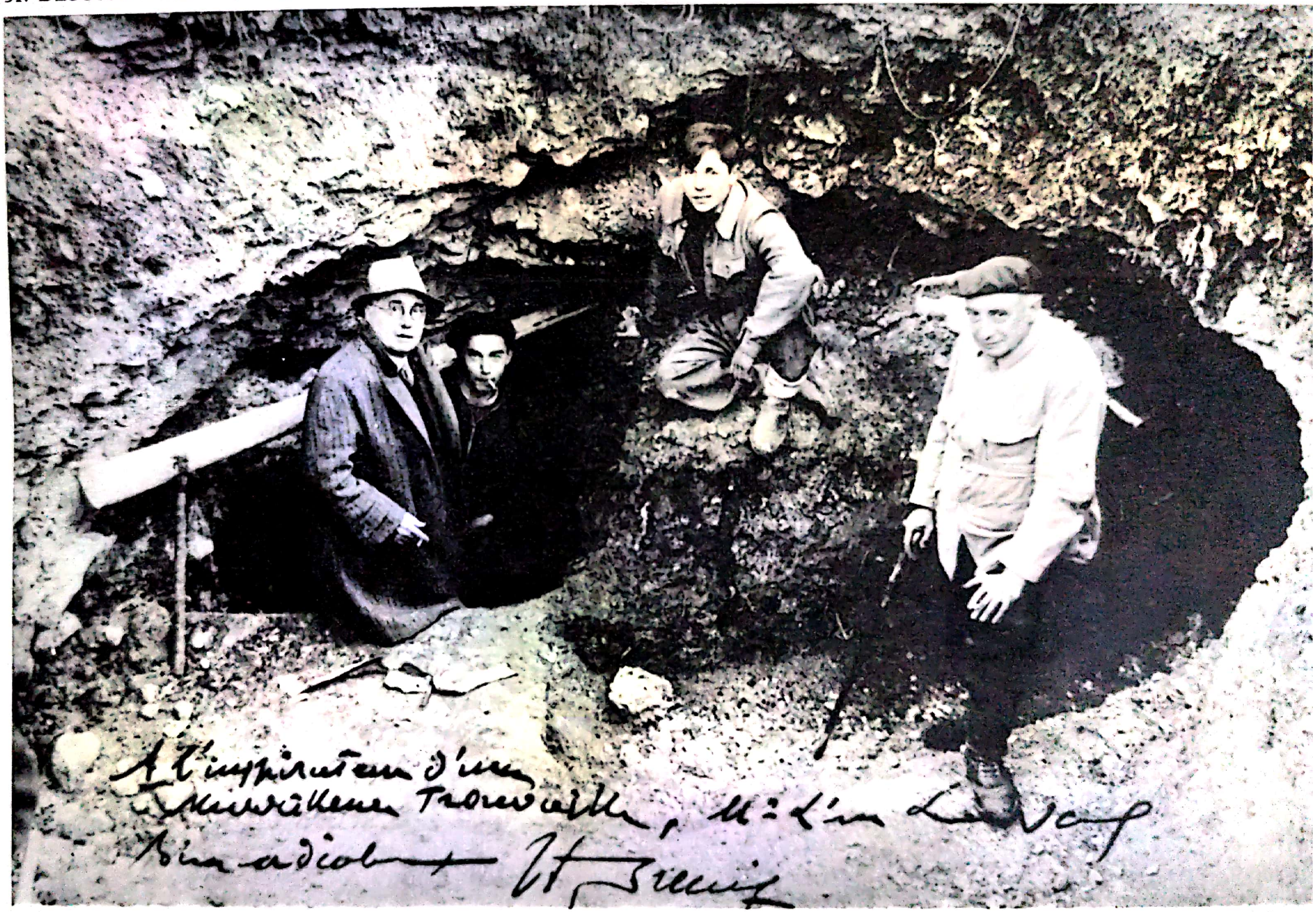

1


2

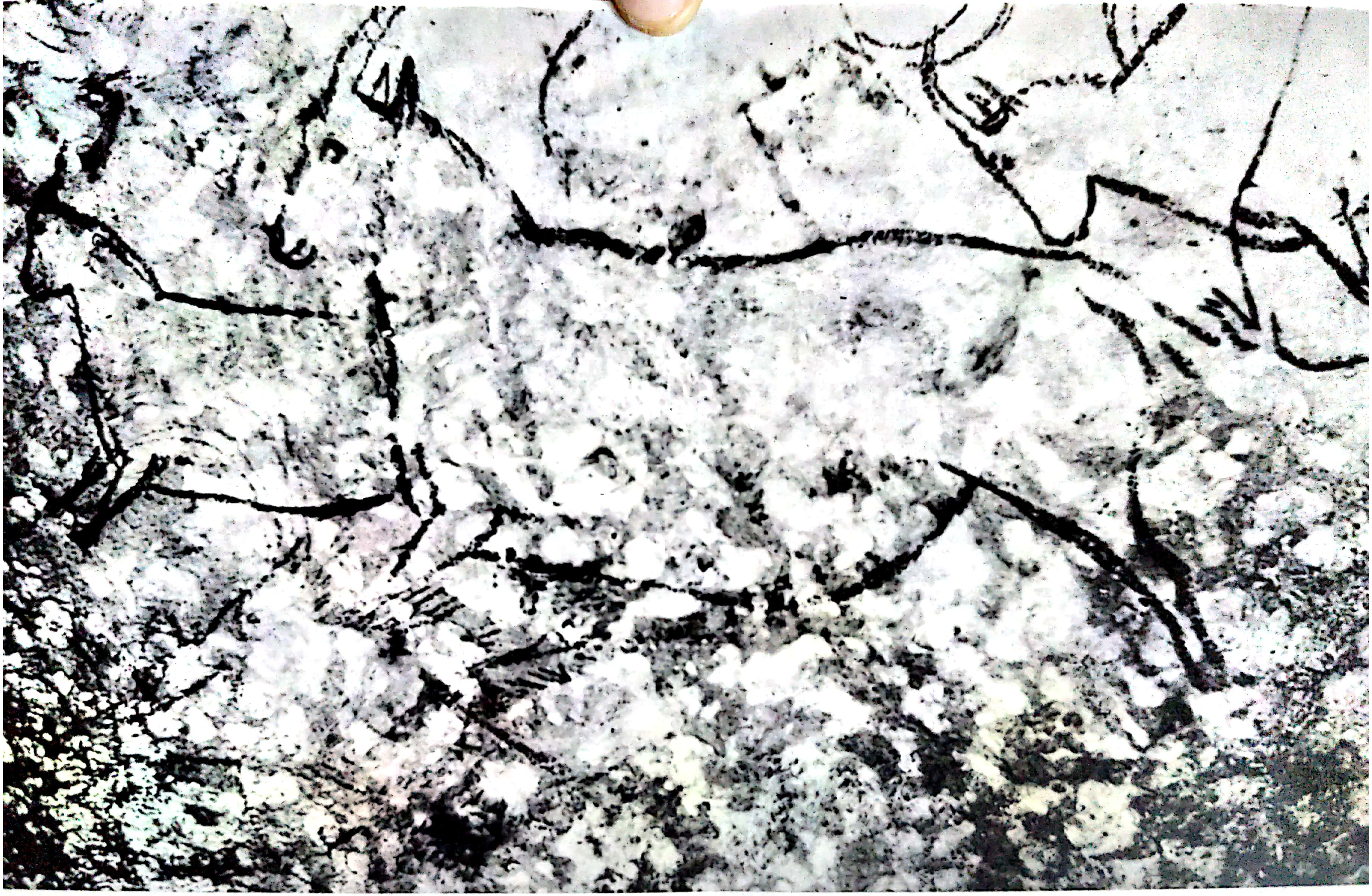

3


4

51. DESCOPERIREA PEŞTERII DIN LASCAUX

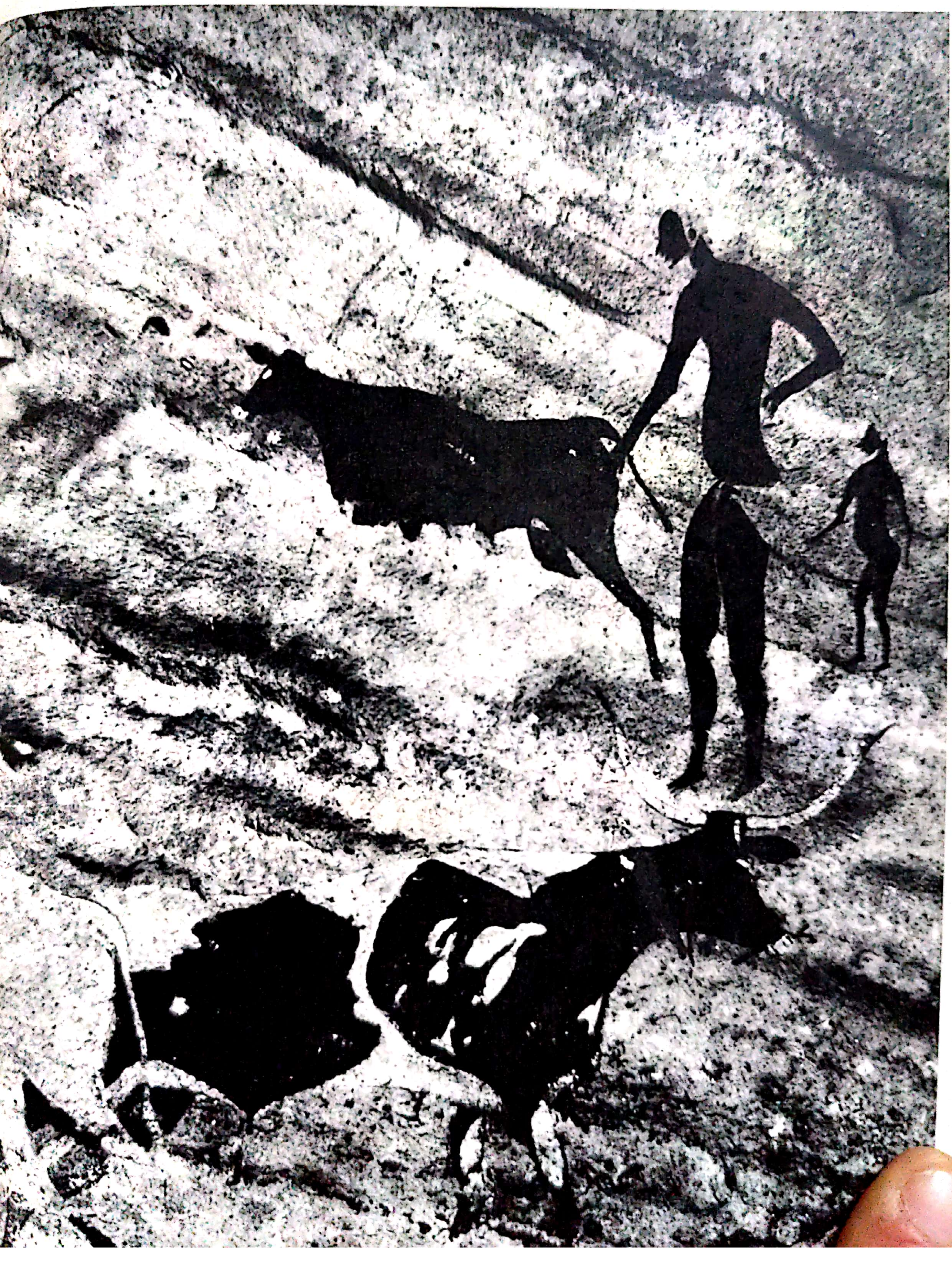


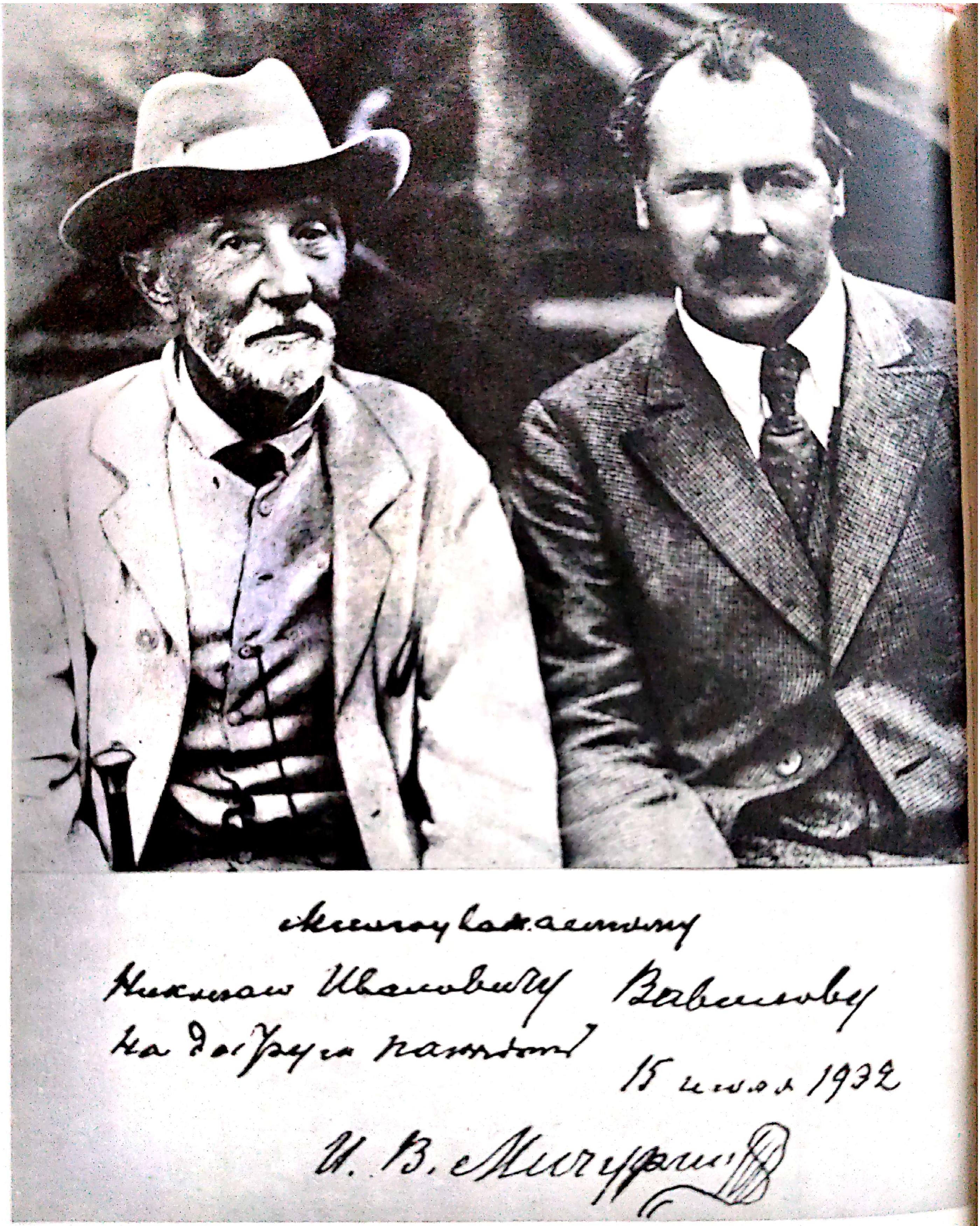
A l'inspirateur d'un
merveilleux travail, M. Léon Laval
bien cordialement H. Breuil



52. ȚAPI PE PEREȚII PEȘTERII DIN ROUFFIGNAC

53. FRESCĂ RUPESTRĂ ÎN TASSILI



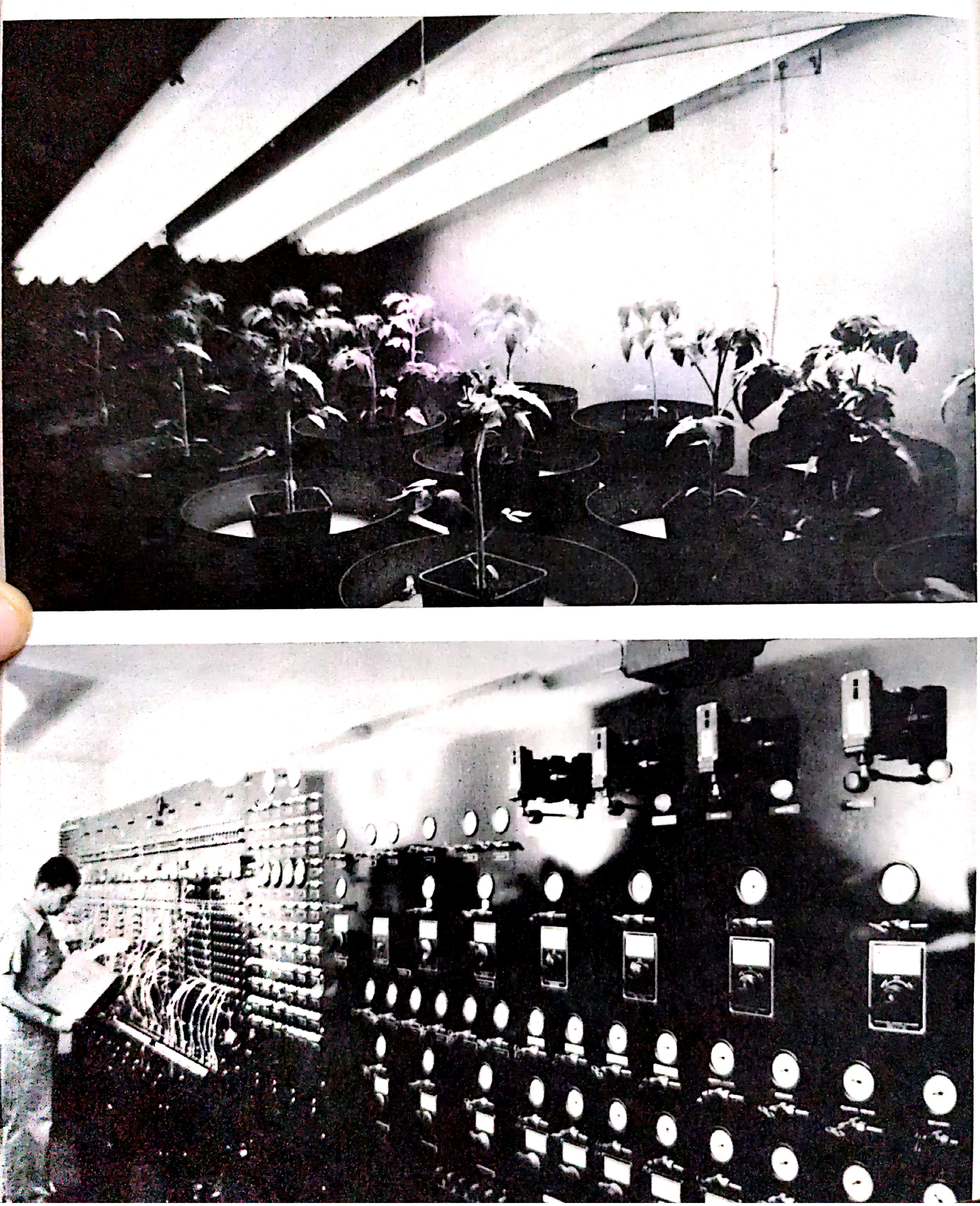


Многоуважаемому
Николаю Ивановичу Вавилову
на добрую память
15 июля 1932
И. В. Мичурин

54. MICIURIN ŞI VAVILOV

55. REZERVAȚIE VEGETALĂ ÎN REPUBLICA MALGAȘĂ

56. FITOTRONUL DIN PASADENA



Tot în 1941, A. J. P. Martin şi R. L. M. Synge descoperă cromatografia pe hîrtie şi demonstrează incomparabila eficacitate a metodei în separarea aminoacizilor. Asociată cu utilizarea C^{14}, această metodă va permite detectarea produselor intermediare ale metabolismului şi determinarea ordinii apariţiei lor. Pentru prima dată va fi, astfel, elaborată o teorie într-adevăr satisfăcătoare a asimilării carbonului la plantele fotosintetizante[14].

1. De la 1900 la 1937–1941

CELE DOUĂ FAZE ALE PROCESULUI DE FOTOSINTEZĂ. La începutul secolului, fotosinteza era concepută ca un fenomen singular, propriu celulelor clorofiliene: asimilarea CO_2 prin intermediul clorofilei, cu ajutorul energiei luminoase, după formula:

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{energie luminoasă} = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Bioxidul de carbon apare în celulă în soluţie, sub formă de acid carbonic (H_2CO_3); ar putea avea loc producerea aldehidei formice, conform vechii ipoteze a lui von Baeyer (1870) şi degajarea de O_2 ($H_2CO_3 = CH_2O + O_2$) şi apoi polimerizarea într-un zahar: $6CH_2O = C_6H_{12}O_6$.

Acţiunea clorofilei părea multor savanţi a fi direct răspunzătoare de reducerea CO_2. În ipoteza lui Willstätter şi Stoll (1918), lumina ar declanşa eliberarea O_2 şi producerea aldehidei pornind de la un produs de combinare, clorofilă-CO_2. Fotosinteza era considerată ca fiind reacţia fotochimică de fixare şi de asimilare a CO_2, iar Willstätter considera că o anumită intervenţie diastazică avea loc doar în etapa accelerării finale. Această teorie se încadra în curentul concepţiilor fizico-chimice simpliste a căror vanitate avea să fie dovedită în viitor: încercările de reconstituire a fotosintezei *in vitro*, prin iluminarea unei soluţii de clorofilă, nu puteau fi niciodată încununate de succes în condiţiile în care lucra Willstätter. Sînt necesare metode mult mai rafinate şi un material experimental deosebit. Trebuie dovedit, dealtfel, că cloroplastele izolate sau fragmentate sînt capabile, într-adevăr, de fotosinteză, fapt pe care anumiţi autori îl contestă (O. Kandler etc., 1961).

---

[14] Deşi majoritatea rezultatelor importante realizate în ultimul timp au fost obţinute de fiziologi-biochimişti care aveau la dispoziţie resursele unor laboratoare mari, şi în special în Statele Unite, aportul anumitor ţări mai puţin favorizate din acest punct de vedere este departe de a fi neglijabil. Datorită mai ales lui A. Moyse, directorul laboratorului de fotosinteză de la Gif-sur-Yvette, şi altor savanţi, Franţa a continuat să-şi menţină locul în cadrul acestor cercetări; lucrările lui J. şi C. Bové, elevii lui Arnon, asupra rolului ionilor cloruraţi, precum şi ale lui J.P. Aubert şi colectivului său de la Institutul „Pasteur" asupra fixării CO_2 la bacteriile nefotosintetizante reprezintă realizări strălucite.

După 1905, experienţele şi concepţia fiziologului englez F. F. Blackman asupra cineticii fotosintezei şi a factorilor limitanţi (lumină, temperatură[15], conţinut în CO_2) aveau să pună într-o nouă lumină şi să deplaseze interesul spre direcţiile cu viitor, dovedind că este necesar să se deosebească o fază de întuneric, legată de temperatură, şi o fază de lumină sau fotochimică, primară, independentă de temperatură. Warburg a dat numele de reacţia lui Blackman procesului de asimilare care are loc la întuneric. Blackman observase că anumite organisme lipsite de pigmenţi sînt, totuşi, capabile să realizeze reducerea CO_2 prin chemosinteză. În sprijinul acestei afirmaţii, Warburg a adus un ansamblu de date cu totul convingătoare; el a demonstrat (1919) efectul relativ al temperaturii şi al intensităţii luminii asupra intensităţii fotosintezei. Aceste fapte au fost analizate şi confirmate în remarcabilele experienţe ale fiziologilor de la Pasadena, R. Emerson şi W. Arnold (1932).

Aceşti autori au lucrat cu lumină intermitentă, cum au făcut şi T.H. Brown şi F. Escombe, încă din 1905, şi apoi Warburg; materialul ales a fost o algă verde din genul *Chlorella* (material introdus de Warburg). După o serie de încercări considerate semnificative, condiţiile optime de randament au fost obţinute la o alternanţă a iluminărilor puternice, dar scurte (10^{-5}s), cu intervale de întuneric relativ lungi (0,02 s) la 25°C. Randamentul poate fi menţinut la aceeaşi valoare în cazul unei scăderi considerabile a temperaturii, cu condiţia măririi duratei fazei de întuneric; şi alţi factori (ca cianura) permit modificarea acestei faze.

Emerson a tras concluzia că reacţia de întuneric utilizează produsul procesului fotochimic şi necesită un timp dat, la o temperatură dată pentru a avea loc în întregime şi pentru a lăsa din nou clorofila disponibilă, permiţîndu-i o nouă absorbţie de cuante de lumină.

IPOTEZA „FOTOLIZEI" APEI. BIOCHIMIA COMPARATIVĂ. Teoria lui Wieland-Thunberg reprezintă în acest caz, ca şi în cel al respiraţiei, începutul unor cercetări decisive. Reluînd ideea şi folosind datele biochimiei comparative furnizate de Kluijver şi Donker (1926), C. B. Van Niel (1929), a sugerat identitatea fotosintezei la plantele verzi şi la bacteriile sulfuroase, conform formulei generale:

$$CO_2 + 2H_2A \xrightarrow{\text{lumină}} (CH_2O) + H_2O + 2A,$$

în care în primul caz reducătorul este H_2O, iar în celălalt, H_2S, sau un compus organic.

---

[15] De mai bine de 10 ani, la catedra de fiziologia plantelor a Facultăţii de biologie a Universităţii din Bucureşti se întreprind cercetări asupra minimului de temperatură necesar fotosintezei plantelor cu organe verzi în decursul iernii. N. Sălăgeanu şi L. Atanasiu (1961, 1962 şi 1964) au găsit că temperatura minimă pînă la care mai are loc fotosinteza la conifere, unele dicotiledonate sempervirescente şi cereale de toamnă este cuprinsă între —4° şi —6°C. La temperaturi scăzute, fotosinteza este limitată chiar dacă intensitatea luminii este relativ ridicată. La licheni şi muşchi, L. Atanasiu (1969, 1970 şi 1971) a găsit un minim de temperatură al fotosintezei situat între —8° şi —10°C. În condiţii naturale, la temperaturi scăzute lichenii şi muşchii dispun de o capacitate fotosintetică superioară celorlalte grupe de plante. — *L.A.*

În realitate, aceasta nu reprezenta decît o primă etapă, dealtfel esențială, în concepția lui Van Niel. Ținînd seama de o contradicție fundamentală, și anume că la bacterii, spre deosebire de plantele verzi, dehidrogenarea este un proces independent de lumină, el a introdus în 1941 noțiunea de „fotoliză" (sau fotodescompunere) a apei, drept numitor comun al substanțelor fotosintetice.

Fotosinteza s-ar reduce deci la o oxidoreducere (sugestiile lui T. Thunberg, 1923, și R. Wurmser, 1930): reducerea CO_2 și oxidarea apei; la plantele verzi, apa ar fi în același timp și donator de hidrogen necesar reducerii CO_2 și sursă de oxigen: aceasta reprezintă o noțiune cu totul nouă, deoarece, încă de la Th. de Saussure (1804), se admitea că oxigenul degajat provenea din descompunerea CO_2. În fotosinteza bacteriană ar avea loc, de asemenea, fotoliza apei, dar donatorul oxidat (care ar regenera astfel donatorul redus H_2O) ar fi redus de o reacție enzimatică ce nu necesită ajutorul luminii și care acționează asupra unui donator extern de hidrogen (H_2S): în aceste condiții nu ar avea loc o eliberare de O_2, ceea ce deosebește în mod esențial fotosinteza la bacterii de cea de la alge și de la plantele superioare.

Ipoteza lui Van Niel asupra „fotolizei" apei și asupra unității procesului fotochimic la toate organismele fotosintetice a avut influența cea mai importantă asupra evoluției cercetării în acest domeniu și, în general, asupra gîndirii biologice.

DESCOPERIREA „FOTOREDUCERII". H. Gaffron a descoperit (1940—44) că după o fază de incubație la întuneric, în anaerobioză, anumite alge verzi (*Scenedesmus*) dobîndesc capacitatea de a reduce CO_2 la lumină, folosind H_2, și nu H_2O și fără a implica degajarea de O_2. La întuneric, aceleași organisme pot, în prezența $O_2 + H_2$, să efectueze, de asemenea, reducerea CO_2: în primul caz este vorba de „fotoreducere", în celălalt[16], de chemosinteză.

Cercetările ulterioare au arătat că „fotoreducerea" nu este însoțită, în general, de degajare de O_2 și că ea s-ar asemăna cu o fotosinteză bacteriană; fenomenul ar fi totuși mai complex (L. Horwitz, 1957). Descoperirea lui Gaffron a adus un sprijin foarte serios concepțiilor unitare și, cel puțin în parte, ipotezei lui Van Niel.

NUTRIȚIA CARBONATĂ ÎN CALITATE DE MECANISM UNIVERSAL. Concepțiile referitoare la nutriția carbonată s-au modificat profund în urma cercetărilor lui H. G. Wood și C. H. Werkman (1935—39) asupra fermentării propionice și a lucrărilor lui D.D. Woods, H.A. Barker etc.

Mai înainte se considera că există unele ființe autotrofe, capabile să asimileze CO_2, și altele heterotrofe, care nu-și pot sintetiza singure substanțele carbonate. Wood și Werkman au arătat că bacterii heterotrofe veritabile puteau fixa CO_2, transformînd o substanță cu C_3 în alta cu C_4. Acest fenomen a fost pus în evidenţă la organisme considerate ca fiind heterotrofe şi mult mai ridicate în cadrul clasificării (plante superioare şi animale). Trebuie admis faptul că aceasta este o proprietate universală a materiei vii, legată de existenţa unui echipament enzimatic fundamental al celulelor. La organismele heterotrofe, această proprietate ar fi lipsită de orice funcţie esenţială, dar în concepţia lui Oparin (1957) ea ar fi condiţionat apariţia ramurilor autotrofe în cursul evoluţiei.

---

[16] I. Fabian (1962, 1963) a cercetat influența luminii asupra potențialului oxidoreducător al unor alge verzi (*Scenedesmus* și *Chlorella*) și plante acvatice superioare și a obținut unele rezultate care prezintă interes științific mai ales din punctul de vedere al cunoașterii proceselor fiziologice de tranziție, adică a acelora care au loc în timpul trecerii de la respirație la fotosinteză și invers. — *L.A.*

Această noţiune de universalitate aplicată fixării CO_2 este deosebit de interesantă. Ea reprezintă expresia mai bine definită a unei tendinţe schiţate deja în lucrările lui Blackman şi Van Niel: fenomenul original al fotosintezei se situează în faza luminoasă. Cu alte cuvinte, fotosinteza şi nutriţia carbonată ar reprezenta procese deosebite (de unde s-ar putea deduce că proprietatea de fotosinteză ar fi dobîndită mai tîrziu). Concepţiile lui Willstätter şi ale altora trebuiau deci abandonate. Fixarea carbonului se efectuează, aşadar, prin carboxilarea enzimatică a unui produs necunoscut, şi nu prin acţiunea directă a luminii.

PIGMENŢII ŞI STRUCTURA LOR CHIMICĂ. Anul 1906 marchează începutul cercetărilor moderne asupra chimismului clorofilei, prin lucrările lui M. Ţvet, care a reuşit să separe doi pigmenţi verzi şi cinci carotenoizi printr-o metodă profund originală de adsorbţie diferenţială. Tot în 1906, după lucrările fundamentale ale lui M. von Niniki (1901), remarcabilul savant german R. Willstätter efectuează o serie de strălucite cercetări care îl vor duce la descoperirea structurii chimice a clorofilelor *a* şi *b* şi la publicarea, în colaborare cu A. Stoll, a lucrării clasice, *Untersuchunger über chlorophyll* (1913)[17]. De atunci, cercetările în acest domeniu al chimiei au fost continuate cu intensitate, mai ales prin lucrările lui H. Fischer la München (după 1929), H. H. Strain (1942) etc., asupra structurii clorofilelor, şi ale lui J. B. Conant, P. Karrer (1931) sau R. Kuhn (1932) asupra carotenoizilor, sau cele ale lui K. Noack şi W. Kiessling (1930) asupra biogenezei clorofilei. Aceste cercetări s-au soldat cu rezultate spectaculoase, cum ar fi descoperirea a peste o sută de carotenoizi sau sinteza clorofilei *a*[18].

Frunzele verzi conţin în general două tipuri de clorofilă (*a* şi *b* în proporţia $a/b = 2$), dealtfel puţin deosebite una de alta, şi carotenoizi (xantofile şi caroteni) al căror rol, încă puţin clar, în acest caz, este important la alge şi la bacterii la care asigură transferul energiei luminoase către clorofilă[19]. Unul dintre sectoarele cele mai active ale cercetării contemporane a fost îndreptat spre studiul funcţional al diverselor clorofile şi al altor pigmenţi *in vivo* şi *in vitro* (J. Franck, C. S. French etc.). L. N. Duysens (1952) consideră că are loc un transfer de energie de la carotenoizi şi de la clorofila *b* la clorofila *a*, sistemul mărindu-și astfel capacitatea de absorbție la diverse lungimi de undă în scopul utilizării de către clorofila *a* (sau de echivalentul său). Acțiunea clorofilei *b* ar putea fi legată de o a doua reacție luminoasă (Arnon, 1961).

---

[17] Clorofila este un compus cu magneziu avînd patru nuclee pirolice (adică o porfirină), în care atomul de magneziu este legat de cei patru atomi de azot ai nucleelor pirolice; în cazul hemoglobinei, magneziul este înlocuit cu fier.

[18] Vezi şi studiul lui A. Ihde (pag. 440—441).

[19] I. Fabian (1971, 1972) constată că efectul luminii asupra xantofilelor violaxantina, anteraxantina şi zeaxantina este puternic amplificat de carenţa fosforului, în primul rînd, şi de cea a potasiului, în al doilea rînd. — *L.A.*

RANDAMENTUL CUANTIC AL FOTOSINTEZEI. Warburg și Negelein (1922—23), într-o lucrare clasică asupra randamentului conversiei energetice, au aplicat teoria cuantică la studiul fotosintezei.

Cercetările lui H. T. Brown și F. Escombe (1905) asupra plantelor superioare au arătat că circa 1% din lumina incidentă ar fi captată în cursul fotosintezei, restul fiind folosită la transpirație (49%), sau reemisă sub formă de lumină sau de căldură.

Calculul arată că în domeniul luminii roșii (670 mμ, banda de absorbție principală) trei cuante de lumină sînt suficiente pentru a reduce o moleculă de CO_2. Dar cîte sînt necesare în mod practic? Warburg și Negelein și-au propus să răspundă la această întrebare. Experiențele lor, remarcabile prin ingeniozitatea metodelor, prin noutatea subiectului și prin grija cu care au fost efectuate, au devenit celebre. După Warburg, în cazul plantei *Chlorella*, patru cuante ar fi suficiente pentru a reduce o moleculă de CO_2, ceea ce reprezintă un randament extrem de ridicat (70%). R. Emerson și C. M. Lewis (1939—41) au criticat însă aceste experiențe. Pentru ei, numărul minim de cuante ar fi de 8—12 (randament 23—34%)[20]. Majoritatea cercetărilor moderne au confirmat sensul rezultatelor lui Emerson, dar nici o dovadă nu a fost destul de puternică pentru a atrage adeziunea unanimă. Și în acest caz Warburg a deschis un nou capitol al științei.

2. De la 1937 la 1960

NOILE DIRECȚII ALE CERCETĂRII. Primele succese ale lui Hill referitoare la funcționarea cloroplastelor izolate datează din 1937—39; ele se rezumă la obținerea artificială a unei degajări de O_2 la lumină, în prezența unui acceptor de hidrogen (altul decît CO_2).

Reacția lui Hill părea a demonstra independența procesului fazei luminoase; în orice caz, ea susținea foarte serios ipoteza fotolizei apei și avea marele merit de a deschide excepționalul capitol al cercetărilor asupra particulelor celulare în afara celulei. În 1940, G. A. Kausche și H. Ruska au publicat primele imagini ale cloroplastelor la microscopul electronic.

În 1941, lucrările biochimiștilor americani Ruben, Randall, Kamen și Hyde au adus un argument, considerat aproape decisiv, în favoarea fotolizei apei.

Experimentînd pe *Chlorella*, acești autori au marcat cu O^{18} apa pusă la dispoziția plantei în fotosinteză: elementul marcat se regăsește în oxigenul degajat; în experiențele de control, aceeași marcare realizată pe CO_2 a fost urmată de o degajare de oxigen nemarcat. În acelaşi an şi folosind aceeaşi metodă, sovieticii A. P. Vinogradov şi R. V. Teis au obţinut acelaşi rezultat; se putea deci considera că oxigenul eliberat în fotosinteza algelor şi plantelor verzi provine din descompunerea apei: acest rezultat nu a mai fost controversat.

---

[20] N. Sălăgeanu (1965) a găsit, în condiții de laborator, un randament al fotosintezei în jur de 25%. De aici s-a calculat că la producerea unui mol de oxigen, frunzele plantelor folosesc 10 cuante de lumină, ceea ce înseamnă că pentru asimilarea unei molecule de CO_2 în frunzele verzi au loc 10 reacții de lumină și probabil tot atîtea reacții de întuneric. — *L.A.*

În 1948, reacţia de întuneric a format, la rîndul ei, obiectul unor cercetări capitale; printre alţii, biochimiştii americani Calvin şi Benson au identificat acidul 3-fosfogliceric ca fiind primul produs stabil format prin fixarea CO_2. De atunci sîntem martorii unei admirabile dezvoltări a cercetărilor.

REÎNNOIREA NOŢIUNII DE FOTOSINTEZĂ: D. I. ARNON ŞI ŞCOALA SA. În 1954, sovieticii E. A. Boicenko şi V. I. Baranov şi americanii Arnon, M. B. Allen şi T. F. O. Whatley de la Universitatea din Berkeley au demonstrat, împotriva oricăror aşteptări, că în condiţii potrivite cloroplastele izolate sînt capabile să fixeze CO_2: pentru prima dată se reuşea realizarea fotosintezei complete în afara celulei şi aceasta independent de respiraţie, deoarece cloroplastele nu respiră (Arnon, 1955). S-a obţinut, astfel, producerea de amidon pornind de la CO_2 şi H_2O.

Metoda lui Hill era, aşadar, perfecţionată: mai mult decît „reacţia cloroplastului", care era o noţiune restrictivă chiar pentru Hill, aceasta era însăşi fotosinteza: cu fază luminoasă, cu fază de întuneric şi în care citoplasma nu avea nici un rol. Rezultatele obţinute au revoluţionat concepţiile la modă, conform cărora fotosinteza era strîns legată de structura celulară. După 1958, s-a reuşit fracţionarea cloroplastului şi separarea materială a celor două faze (A. V. Trebst etc.). Într-o primă etapă, cloroplastele, izolate şi întregi, funcţionează fără iluminare, în absenţa CO_2. Într-o a doua etapă, granulele (partea verde) sînt extrase şi operaţia are loc la întuneric, în prezenţa CO_2: acest proces interesează doar *stroma* (partea necolorată) şi duce la producerea zaharurilor. Rezultatul este acelaşi ca şi în cazul în care procesul ar fi fost continuu; stroma pare totuşi a interveni în faza luminoasă (Arnon, 1957).

Dar lucrările lui Arnon şi ale altora aveau să ducă la o concepţie profund remaniată a fotosintezei. Departe de a mai fi doar procesul de asimilare a CO_2, ea ar apărea ca fiind terminată înainte de faza de întuneric. Ce este atunci fotosinteza?

După 1943, dînd dovadă de o intuiţie deosebită, S.Ruben a luat în considerare ipoteza fosforilărilor cuplate cu reacţiile fotochimice, care condiţionează reducerea CO_2; energia luminoasă ar fi transformată în energie chimică potenţială sub formă de PNH_2 (DPN sau TPN) şi ATP. Curînd după aceea o serie de experienţe au venit în sprijinul acestui punct de vedere; s-a văzut, dealtfel, clar că ATP joacă un rol esenţial în reacţiile fazei de întuneric.

Am semnalat noţiunea de fosforilare oxidativă în lanţurile de procese respiratorii: energia acumulată sub formă de ATP provine din oxidarea $DPNH_2$ în mitocondrii, sediul respiraţiei aerobe. W. Vischniac şi S. Ochoa au stabilit (1951—52) că prin iluminarea unor suspensii de cloroplaste izolate se obţine reducerea PN; în concepţia lor, această reducere este de tipul celei a lui Hill, dar în care PN reprezintă acceptorul de hidrogen: $2PN + 2H_2O \rightarrow 2PNH_2 + O_2$. Aceiaşi autori, permiţînd intervenţia mitocondriilor în prezența O_2, au putut efectua experiența pînă la producerea de ATP: acest proces este o fosforilare oxidativă. Ar exista deci două procese cunoscute de reducere a fosfopiridinnucleotidelor: unul fotochimic și altul intervenind în cursul oxidării respiratorii (la nivelul substratului) prin dehidrogenaze.

După descoperirile lui Vischniac și Ochoa se considera că sinteza ATP-ului în mitocondrii ar rezulta dintr-o cuplare cu reoxidarea mitocondrială a PNH_2 (în prezența O_2); aceste oxidoreduceri și fosforilări ar necesita colaborarea cloroplastelor și mitocondriilor. Rolul luminii în fotosinteză părea deci lămurit. Dar anumite dificultăți aveau să impună noi cercetări, mai ales faptul că mitocondriile sînt relativ puțin numeroase în celulele clorofiliene.

Arnon și echipa sa, folosind cloroplaste izolate, au demonstrat în 1954 existența unei fosforilări fotosintetice; aceasta reprezenta o mare descoperire. Energia luminoasă este transformată direct în energie potențială, utilizabilă imediat sub formă de ATP și chiar în interiorul cloroplastelor, fără ajutorul mitocondriilor și pornind de la fosfat mineral și ADP. Acesta reprezintă un fenomen cu totul diferit de fosforilarea oxidativă a lui Vischniac și Ochoa. În același an, A.W.Frenkel a observat același proces la bacteriile fotosintetice. Este vorba, deci, de un mecanism general comun tuturor organismelor fotosintetizante.

Încercînd să înțeleagă etapele acestei fosforilări, Arnon s-a referit mult la cunoștințele dobîndite în studiul respirației. După ce a încercat să pună de acord ipoteza lui Van Niel asupra „fotolizei“ apei cu faptele noi, el a propus, în cele din urmă, o schemă originală bazată pe un transport de electroni comparabil celui de la fosforilările oxidative: cu singura diferență că donatorul și acceptorul de electroni reprezintă în acest caz unul și același lucru, și anume clorofila. De aceea i s-a dat denumirea de fotofosforilare ciclică. Fiecare moleculă de clorofilă, activată de o cuantă de lumină, ar expulza un electron, trecînd în starea oxidată de acceptor de electron. Electronul expulzat, ridicat la un nivel mai înalt de energie, trece printr-o serie de transportori și este adus din nou la clorofilă. Fosforilarea ADP-ului ar fi cuplată la acest circuit.

Arnon considera că această fotofosforilare ciclică, aparent primitivă și prezentă în toate organismele fotosintetizante, ar trebui să fie factorul lor comun, dar cercetările recente (Arnon, 1961) au arătat că există și la bacterii mecanisme de fotofosforilare neciclice comparabile cu cele ale cloroplastelor. Din acest tip de reacție rezultă la plantele verzi producerea de PNH_2 și ATP. În acest caz, apa disociată în ionii săi, H^+ și OH^-, devine sursa atît a eliberării de O_2, cît și a producerii de protoni și electroni necesari formării de ATP și de $TPNH_2$. Electronii expulzați de molecula de clorofilă care absoarbe de fiecare dată, ca și în cazul precedent, cîte un foton, sînt folosiți împreună cu protonii (H^+) la reducerea TPN-ului: sistemul este neciclic.

Cercetările cele mai recente (M. Losada, F. R. Whatley și Arnon, 1961) au arătat că energia necesară oxidării apei (pierdere de electroni) în cursul fotosintezei ar proveni din acțiunea luminii; aceasta reprezintă o a doua reacție luminoasă sau fotooxidarea care permite cloroplastelor să utilizeze apa ca donator de electroni (ceea ce ar fi interzis bacteriilor).

Autorii au mai dovedit că în cloroplastele în care această fotooxidare a apei este blocată artificial și în prezența unui alt donator de electroni are loc reducerea TPN-ului și fotofosforilarea fără degajare de O_2: este tipul bacterian al fotofosforilării. Bacteriile fotosintetice ar utiliza, de fapt, alţi donatori de electroni decît apa şi ar reduce astfel PN-ul, dar ar putea de asemenea să fixeze H^+ sau N_2, datorită unor echipamente enzimatice speciale; în funcţie de donatorul de electroni, ele ar avea sau nu nevoie de energie luminoasă.

În domeniul fotosintezei, fiecare an aduce o serie de mari descoperiri şi se poate prevedea că în viitorul apropiat cunoştinţele noastre vor realiza progrese decisive. Rămîne un bun cîştigat această mare idee că fotosinteza înseamnă în esenţă *fotofosforilări*, sau acumulare de energie luminoasă sub formă de ATP (direct sau indirect prin reducerea PN-ului).

FIXAREA ŞI REDUCEREA CO_2. CICLUL DE REDUCERE AL CARBONULUI SAU CICLUL CALVIN. Formularea unei teorii a reacţiilor termochimice ale fotosintezei, atît de des şi atît de zadarnic încercată în trecut, se bazează acum, după vreo 10 ani de cercetări intense, pe un mare număr de date sau, în lipsa lor, pe presupuneri plauzibile. Acest avînt brusc şi tîrziu într-un domeniu de cercetări deosebit de complex se explică prin colaborarea unor factori diferiţi: progrese realizate în cunoaşterea anumitor funcţii, perfecţionarea unor metode, precum şi prin apariţia unor savanţi remarcabili, ca cei din colectivul de la Berkeley, J.A.Bassham, A.A.Benson etc., grupaţi în jurul lui M.Calvin. Cunoştinţele dobîndite în studiul metabolismului intermediar, fermentaţiile şi respiraţia au avut cea mai mare influenţă şi în special utilizarea metodelor de izolare a enzimelor (E.Racker, 1955). Produsele intermediare ale glicolizei şi cele ale ciclului pentozelor se regăsesc în reducerea termochimică a carbonului; ciclul lui Krebs, generator de CO_2, participă, de asemenea, la sinteza aminoacizilor şi a altor compuşi. De fapt, respiraţia în sens larg şi faza de întuneric a fotosintezei apar ca fiind funcţii importante, intim asociate şi mai mult sau mai puţin complementare, avînd anumite porţiuni comune şi folosind aceleaşi sisteme enzimatice. Acest capitol al asimilării carbonului, despre care se ştie, în special de la Wood şi Werkman, că nu este specific celulelor fotosintetizante, s-a înglobat în mod natural în cadrul general al metabolismului celular şi al enzimologiei.

Calvin şi şcoala sa au folosit în modul cel mai fericit metodele izotopice şi cromatografice. Folosind C^{14}, ei au putut urmări deplasările şi viteza acestuia.

Experienţele lui H. Gaffron şi colaboratorii (1947) şi mai ales cele ale lui Calvin şi colaboratorii (1947—50) au arătat că dacă se opreşte fotosinteza după o expunere de cîteva secunde la $C^{14}O_2$, la întuneric, se găsesc deja diverşi produşi carbonaţi (printre care şi urme de aminoacizi), dar unul singur în mare cantitate, şi anume acidul 3-fosfogliceric sau APG, o substanţă cu C_3. Pe de altă parte, studiul acestui compus a pus în evidenţă marea radioactivitate a grupării carboxilice, ceea ce ar duce la concluzia că APG ar fi produs prin *carboxilare*, sau fixare a CO_2 absorbit pe un acceptor cu C_2. Astfel a fost infirmată ipoteza lui A. von Baeyer (1870), conform căreia primii produşi ai reducerii CO_2 ar fi oxidul de carbon şi formolul. Au fost aduse precizări asupra *fazei carboxilice* (J. R. Quayle, R. C. Fuller, Benson şi Calvin, 1954). În 1951, Benson a identificat o pentoză, ribulozdifosfatul, şi o heptuloză, printre primele substanţe marcate; de fapt, ribulozdifosfatul, provenit din ribulozmonofosfat cu ajutorul ATP-ului, ar fi acceptorul de CO_2 (colectivele lui Quayle, A. Weissbach, A. Kornberg, 1952—56). Ribulozdifosfatul odată carboxilat se rupe şi furnizează prima substanţă sintetizată, APG: în acest mod acceptorul în C_2 nu ar avea o existenţă autonomă. De la APG, prin reducere cu ajutorul ATP şi $TPNH_2$, se trece la zaharuri fosforilate, la trioze fosfate şi apoi la hexoze fosforilate (şi de aici mai departe spre zaharoză şi polizaharide), ceea ce constituie *faza reducătoare*. În final, de la hexoze se revine la ribuloza monofosfat prin intermediul unor diverse pentoze sau heptuloze iar ciclul este regenerat (*faza regeneratoare* a lui Arnon)[21].

Toate etapele ciclului implică un număr egal de enzime şi pot constitui originea derivaţilor spre diversele sinteze. Aceasta este schema actuală cel mai general admisă în privinţa reacţiilor fazei de întuneric a fotosintezei[22]. Se observă că reacţia lui Blackman este, în realitate, formată dintr-un ansamblu de mecanisme complexe care nu pot fi simbolizate într-o formulă unică.

D. PRIVIRE ASUPRA UNOR PROBLEME

NUTRIŢIA MINERALĂ. La începutul acestui secol, dacă se face excepţie de elementele fundamentale: carbon, hidrogen şi oxigen, şapte elemente păreau esenţiale în nutriţia plantelor superioare: azotul, sulful, fosforul, potasiul, calciul, magneziul şi, în cantităţi foarte mici, fierul. În urma lucrărilor lui G. Bertrand şi M. Javillier (1897—1912) şi ale lui P. Mazé (1914), cercetările moderne au stabi-

[21] Cercetările efectuate în ţara noastră, după 1960, cu ajutorul tehnicii cu izotopi radioactivi la Institutul de biologie din Bucureşti, au adus contribuţii în domeniul fotosintezei cu privire la identificarea naturii substanţelor organice produse, precum şi în domeniul transportului şi acumulării substanţelor asimilate în plante. C^{14} asimilat prin fotosinteză din $C^{14}O_2$ de către plantele autotrofe a apărut, la început, preponderent în fracţiunea glucidelor, a acizilor organici şi aminoacizilor, fracţiunea substanţelor insolubile în apă fiind cu mult mai puţin marcată (Fabian-Galan Georgeta, 1963—1965; N. Sălăgeanu şi Viorica Tănase, 1969—1971). Aminoacizii fac şi ei parte dintre primii produşi ai fotosintezei, radioactivitatea lor fiind mai puternică în lumina albastră decît în lumina roşie (Gh. Popovici, 1968—1972).

C^{14} asimilat de plantele carnivore din hrana animală (dafnii) a apărut mai întîi în glucide şi de-abia după aceea în alţi produşi ai metabolismului (Georgeta Fabian-Galan şi N. Sălăgeanu, 1968).

La licheni s-a constatat includerea carbonului radioactiv mai ales în glucidele talului, dar şi în fracţiunea aminoacizilor şi acizilor organici (Georgeta Fabian-Galan, L. Atanasiu şi N. Sălăgeanu, 1970) iar la briofite, expuse la lumină în atmosferă cu $C^{14}O_2$, radioactivitatea a fost preponderentă, ca şi la plantele superioare şi la licheni, în zaharoză şi apoi în alte glucide solubile, iar în celelalte fracţiuni, ea a avut valori mai scăzute (L. Atanasiu şi Georgeta Fabian-Galan, 1971). Se pare că, în general, căile carbonului în fotosinteză sînt aceleaşi pentru toate plantele fotosintetice, cel puţin pentru acelea care emit oxigen.

[22] La anumite grupe de plante ierboase, ca, de exemplu, la trestia de zahăr şi porumb, primul produs marcat pare să fie acidul malic sau acidul oxalacetic; includerea carbonului radioactiv în APG are loc ceva mai tîrziu. Plantele din acest grup, care fac excepţie de la ciclul lui Calvin, arată o mare afinitate pentru CO_2 şi au o scăzută activitate a enzimei ribulozdifosfatcarboxilaza. Astfel de cercetări au fost efectuate de H. P. Kortschak, 1965, şi C. R. Slack şi M. D. Hatch, 1967. — *L.A.*

lit în mod definitiv că, alături de macroelemente, un rol esenţial este jucat şi de alte elemente, dar în doze extrem de mici; acestea sînt micro- sau oligoelementele (printre care se numără şi fierul).

Necesitatea absolută a şase oligoelemente a fost definitiv stabilită în cursul unor cercetări după anul 1920: manganul (J. S. McHargue, 1922), borul (K. Warington, 1923), zincul (A. L. Somner şi C. B. Lipman, 1926), cuprul (Lipman şi G. MacKinney, Somner, 1931), molibdenul (Arnon şi P. R. Stout, 1939), clorul (H. de Jager, 1933; Warburg, Bové). Necesitatea altor elemente, ca vanadiul şi cobaltul, nu a putut fi pînă acum demonstrată. Aceste rezultate de importanţă extremă nu au fost obţinute decît în urma unor numeroase cercetări şi a unei perfecţionări considerabile a metodelor de culturi sintetice: a trebuit să fie luate precauţii riguroase şi măsuri excepţionale de asepsie pentru a detecta rolul unui oligoelement ca molibdenul care se dovedeşte activ la o concentraţie de 10^{-9} g/cm^3.

Studiile asupra nutriţiei minerale s-au perfecţionat mult în urma dezvoltării tehnicii de cultură a organelor (P.R.White, Robbins, 1922—23) şi ţesuturilor (R.Heller, 1953). Studiul sistematic al soluţiilor nutritive echilibrate în ceea ce priveşte concentraţiile lor ionice (K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, NO_3^- etc.) a dus la obţinerea unor lichide sintetice cu numeroase aplicaţii teoretice şi practice (acvacultură industrială, W.F.Gericke, 1936) (W.Tottingham şi J.W.Shive, 1914; H.C. Hamner; D.R.Hoagland).

Anumite carenţe ale solului în elemente minerale necesare se exprimă la plantă prin simptome vizibile cu ochiul liber (cloroză, uscare...), dar altele nu pot fi astfel detectate cu siguranţă. Ingenioasa metodă a diagnosticului foliar care permite să se tragă o concluzie precisă asupra lipsei unuia sau altuia dintre elemente (fosfor, azot, potasiu) prin analiza frunzei se bucură de un mare succes în agricultură.

Fosforul, sulful, magneziul şi calciul sînt în special elemente structurale ale celulei. Fosforul este un component al acizilor nucleici, al fosfolipidelor, al compuşilor fosfataţi esenţiali în transferul de energie. Sulful se găseşte în anumiţi aminoacizi, în glutation; calciul — în substanţa pereţilor celulari, magneziul — în clorofilă (are şi un rol enzimatic). Nu se cunoaşte însă rolul anumitor elemente; altele ca fierul, cuprul, manganul, molibdenul sau zincul, şi poate şi potasiul, intră în compoziţia enzimelor. Ionul de clor intervine în fosforilările din cursul fotosintezelor.

Problema extrem de complexă a permeabilităţii membranelor citoplasmei a condus la multiple cercetări şi controverse în care s-au remarcat încă de la începutul secolului numele lui E.Overton, H.Ruhland, H.Fitting etc.

După R. Collander (1921—33), substanţele organice (glicerol, uree, zaharoză) ar pătrunde cu o viteză proporţională cu gradul lor de liposolubilitate şi invers proporţional cu dimensiunea moleculelor; membrana ar avea pori de mărimi inegale. Datele recente, şi mai ales cele obţinute prin studiul la microscopul electronic, prevăd o aprofundare a cunoştinţelor noastre asupra acestui fenomen de difuziune.

În privinţa substanţelor ionizate, un rol activ ar juca citoplasma în legătură strînsă cu respiraţia, fapt care a fost pus în evidenţă încă din 1936 (H. Lundegardh, F. C. Steward şi D. R. Hoagland). În plus, absorbţia ionilor este selectivă (Osterhout, 1922; Collander, 1941 etc.). Osterhout (1906) a arătat că permeabilitatea depinde şi de echilibrul ionic al mediului, care rezultă din antagonismul ionilor de tipul K^+ sau Na^+ faţă de ionul Ca^{++}. Această noţiune este importantă, deoarece ionii Na^+ sau K^+, singuri, măresc permeabilitatea celulară într-o astfel de măsură, încît pot fi consideraţi ca toxici; ionul Ca^{++} este un fel de antitoxic.

Ceea ce a demonstrat şi a aprofundat înainte de toate ştiinţa modernă este faptul că solul, din punctul de vedere al legăturilor sale directe cu planta, nu este pentru aceasta decît un substrat furnizor de oxigen, de apă şi de săruri minerale şi că proprietăţile sale fizice şi biologice nu au decît un rol indirect. Pe de altă parte, ştiinţa modernă a promovat în mod considerabil analiza nutriţiei minerale şi a mecanismelor sale al căror rol activ a fost dovedit, fără a fi negate sau neglijate aspectele sale fizice (osmoză etc.).

ECONOMIA APEI. TRANSLOCAŢIA. Economia apei în plantele superioare este legată mai ales (teoria coeziunii, 1895) de fenomenul transpiraţiei, a cărui complexitate a fost pusă în evidenţă de cercetările moderne. De fapt, sînt necesare progrese serioase pentru a înţelege mecanismul la nivelul stomatelor. Rolul primordial al luminii în transpiraţie, pus în evidenţă încă din 1916 de fiziologii americani L.I.Briggs şi H.L.Shantz, demonstrează că nu este vorba de un simplu fenomen de evaporare. Se consideră că deschiderea stomatelor ar proveni dintr-o creştere a presiunii osmotice a celulelor stomatice în legătură cu fotosinteza întregului mezofil (R.G.Wiggans, 1921; J.D.Sayre, 1925; Heath, 1948); micşorarea conţinutului în CO_2 al camerei substomatice ar declanşa deschiderea lor.

Noţiunea modernă de transport *(translocaţie)* sau circulaţie a unor substanţe mai mult sau mai puţin complexe, elaborate în plantă, este încă departe de a fi satisfăcătoare. Enigma funcţionării tuburilor ciuruite ale floemului n-a fost definitiv rezolvată. E.Münch (1930) şi A.S.Crafts au prezentat o teorie osmotică, dar alţi autori vorbesc de difuziune şi de curenţi citoplasmatici (O.F.Curtis, 1935—50). Se poate considera în mod rezonabil că cele trei noţiuni se completează reciproc.

Cea mai mare parte a produselor elaborate în frunze este destinată rădăcinilor şi fructelor; substanţele elaborate sînt transportate de celulele neclorofiliene, după cum a dovedit H. Colin încă din 1916.

Experienţe efectuate cu ajutorul radioizotopilor au permis obţinerea unui mare număr de informaţii asupra sensului şi vitezei de deplasare. Zaharoza, care reprezintă cea mai mare parte din produsele elaborate în frunze prin fotosinteză, se deplasează de la frunze spre regiunile superioare şi inferioare ale plantei, de-a lungul ţesuturilor vii şi al tuburilor ciuruite ale floemului (O. Biddulph, 1939—53). Substanţele elaborate parcurg un circuit de la frunză la rădăcină şi de la rădăcină spre vîrf (A. L. Kursanov). Anumite substanţe (fosfor, sulf) au o mobilitate mult mai mare decît altele (calciu). Se pare că nitraţii pot fi total sau parţial reduşi în rădăcini şi că aminoacizii folosesc calea vaselor xilemului (E. G. Billard, 1957).

Cercetările moderne au confirmat vechile păreri despre rolul vaselor şi al traheidelor xilemului: prin ele seva brută încărcată cu săruri minerale şi cu produse azotate se ridică rapid; există însă şi o circulaţie transversală spre floem şi muguri (P. R. Stout şi Hoagland, 1939)[23].

NUTRIŢIA AZOTATĂ. În fiecare an apar nenumărate note şi articole asupra problemei atît de complexe şi fundamentale de care depinde sinteza componentelor esenţiale ale celulei. Progresele destul de lente dovedesc aportul biochimiei şi enzimologiei. Ceea ce datorăm în special acestor ştiinţe este concepţia nouă şi generală asupra naturii proteinelor, a rolului lor şi a regenerării lor. După cercetările clasice ale lui E.Fischer (1902—1907) şi T. B. Osborne (1909) a fost parcurs un drum lung în cunoaşterea aminoacizilor, datorită mai ales lucrărilor lui A.J.P.Martin şi R.L.M.Synge (1945), care au dus la utilizarea curentă a unor procedee extrem de interesante.

Patru observaţii sînt de citat printre cele mai importante:

1) Progresele realizate în topochimie, şi mai ales lucrările lui J. Brachet şi R. Jeener (1944), au furnizat dovada, confirmată ulterior, a rolului microzomilor, elemente ale protoplasmei bogate în acizi ribonucleici, în sinteza proteinelor protoplasmatice, sinteză care ar avea loc sub controlul indirect al nucleului. Pe de altă parte, s-a dovedit (W. C. Schneider, 1956) că multe enzime sînt localizate în mitocondrii.

2) Cercetările lui R. Schoenheimer şi alţii (1940) au stabilit faptul că proteinele tisulare se găsesc într-o stare de flux, de reînnoire continuă: în toate celulele are loc fără încetare degradarea, mobilizarea şi resintetizarea proteinelor *(turn-over)*.

Frunzele detaşate nu-şi mai pot menţine echilibrul proteic; iar o mare parte a nitraţilor pare a fi redusă în rădăcini: aceste fapte ar indica existenţa unui aminoacid produs în rădăcină, necesar sintezei proteinelor foliare.

3) Cercetările americanului W. M. Stanley (1935), care a reuşit să izoleze în stare cristalizată virusul mozaicului tutunului (după cercetările recente, 1955, virusul ar fi compus în întregime din nucleoproteine). Un mare progres a fost realizat în virologie în 1955, cînd H. Fraenkel-Conrat şi R. C. Williams au reuşit să separe acizii nucleici de componenţii proteinici ai virusului şi apoi să-l reconstituie în stare biologic activă.

---

[23] Cu ajutorul C^{14}, N. Sălăgeanu şi Georgeta Fabian-Galan (1961 şi 1968) au constatat că între plantele parazite (cuscuta) sau semiparazite (vîscul) şi respectivele plante-gazdă are loc un schimb de substanţe organice şi că, din punct de vedere cantitativ, schimbul acesta este în defavoarea plantei-gazde. Exportul asimilatelor din frunzele unor plante superioare s-a intensificat odată cu fotosinteza iar transportul lor s-a orientat în direcţia părţilor vegetative tinere şi în cea a fructelor (Georgeta Fabian-Galan, 1963—1965, şi Viorica Tănase, 1971).

Conducerea substanţelor organice prin vasele conducătoare s-a dovedit a fi dependentă de mărimea intensităţii respiraţiei, deci de energia metabolică disponibilă (N. Sălăgeanu, 1961). La tutun, C^{14} transportat din frunze în rădăcini a apărut relativ repede şi în nicotina sintetizată aici (Georgeta Fabian-Galan şi colaboratorii, 1970).

La licheni s-a constatat, cu ajutorul microautoradiografiei, că, la un timp relativ scurt după expunere în atmosferă cu $C^{14}O_2$, are loc un intens export de asimilate din celulele algelor fotosintetizante în cele ale hifelor ciupercii (L. Atanasiu, Georgeta Fabian-Galan şi N. Sălăgeanu, 1970). Tot cu C^{14} s-a demonstrat că fosforul şi potasiul participă la realizarea transportului şi metabolizării în plante a glucidelor produse în fotosinteză (Georgeta Fabian-Galan, 1970—1971). — *L.A.*

4) Progresele realizate în cunoaşterea proceselor de fixare a amoniacului şi de introducere în compuşii organici (F. Knoop şi H. Oesterlin, 1936; A. E. Braunstein, 1937; A. C. Chibnall, 1939).

Una dintre căile cele mai curent utilizate de plantă ar fi sinteza acidului glutamic, pornind de la un acid lipsit de azot (acidul cetoglutaric produs în respiraţie), sub acţiunea catalizatoare a unei enzime (dehidrogenaza glutamică) care are DPN-ul drept coenzimă. O transaminare ulterioară ar duce la acidul aspartic şi la alţi aminoacizi. Dar mecanismul fixării biologice a azotului molecular din atmosferă este încă în mare măsură necunoscut, în ciuda remarcabilelor lucrări ale americanului P. W. Wilson, bazate pe folosirea N^{15}.

Reamintim cazul fotofixării la bacteriile fotosintetice conform teoriei lui Arnon şi producerea pe această cale de NH_3. În privinţa nodozităţilor leguminoaselor, ele ar conţine un pigment, o hemoglobină (H. Kubo, 1937), a cărei legătură cu fixarea azotului molecular nu este cunoscută. Dealtfel, diferite cercetări au pus în evidenţă la plantele superioare (şi mai ales la anin) acest fenomen de fixare simbiotică şi este cazul să considerăm că, spre deosebire de vechile idei, el este foarte general şi deci foarte important.

CAPITOLUL VIII
Botanica

A. MORFOLOGIE GENERALĂ

STRUCTURA PLANTELOR VASCULARE. După 1880, un elev al lui Hofmeister și J.Sachs, K.E.R. von Goebel, a dat un puternic impuls morfologiei vegetale și organografiei *(Organographie der Pflanzen*, 1898; ediția a 3-a, 1928). Adept al metodei obiective și experimentale, Goebel pune accentul pe ontogenie și pe legătura dintre formă și funcție, care se găsește la baza gîndirii botanice moderne. Aceasta este epoca în care prosperă în America școala lui E.C. Jeffrey, în Franța — cea a lui Ph. Van Tieghem, iar în Belgia ia naștere școala lui A. Gravis.

Van Tieghem aparține, fără îndoială, mai degrabă secolului al XIX-lea decît secolului al XX-lea, dar influența sa nu a încetat să se manifeste. Cu teoria sa asupra stelului (cilindrul central al unui ax vegetal, tulpină sau rădăcină, limitat de periciclu sau de endoderm), dezvoltată de Jeffrey, căruia îi datorăm și o interesantă ipoteză asupra evoluției tipologice a stelului, Van Tieghem a stimulat o mișcare foarte fecundă. După el, planta vasculară se compune din trei categorii de organe: rădăcină, tulpină, frunză. Stelul are o simetrie radială, frunza este simetrică față de un plan. Organele sexuale nu sînt decît părți vegetative transformate. Această teorie, care exprima o preocupare deosebită pentru claritate, s-a dovedit ulterior mult prea rigidă. Dealtfel, cunoștințele embriologice ale epocii nu permiteau deloc utilizarea datelor privind structura și funcționarea meristemelor.

Multiplele ipoteze elaborate care țin seama de structura plantelor vasculare pot fi încadrate în cîteva curente. Unele consideră că lăstarul fanerogamelor reprezintă o structură compusă.

Această idee a fost susținută de Goethe, apoi de Gaudichaud (1841) și Celakovsky (1901). Pentru Gaudichaud, lăstarii sînt segmente sau fitoni, frunză și porțiune de tulpină care constituie lăstărirea. De asemenea, pentru G. Chauveaud (1911), planta este o colonie de indivizi elementari sau filorizi.

Alți autori consideră că partea axială ar rezulta dintr-un fenomen secundar, și anume din fuziunea bazelor foliare. Acestei concepții (Delpino, 1883; D.H. Campbell) i se opune cea a lui O. Lignier, denumită a merifitului, strîns legată de cea a pericaulomului (H. Potonié).

Tulpina este o axă cauloidă, un sistem de axe mărite față de ceea ce datorează merifitelor, adică axelor laterale destinate foliarizării; partizanii teoriei foliare se bazează pe rezultatul unei evoluții foarte accentuate, manifestată prin reducerea tulpinii inițiale. De acest curent se leagă lucrările lui Bower (1908—1935) asupra plantelor vasculare primitive și cele ale lui A. G. Tansley (1907) și W. Zimmermann (1930), creatorul *teoriei telomului*.

Autorii moderni au folosit din plin teoria telomului, dar ideile lui G. Chauveaud au fost susținute cu vigoare în Franța, avînd apărători și în zilele noastre. O poziție diferită, inițiată de Hofmeister, a fost apărată de Saunders (1922), care afirmă că lăstarul ar fi o structură axială conținută în învelișul bazelor foliare.

S-ar părea că teoriile fitonice, bazate pe realizările morfologiei, anatomiei și ontogeneticii comparative, nu se pot împăca ușor cu datele paleobotanice. Dimpotrivă, sprijinite pe o mare parte dintre acestea, teoriile telomice au pretenția de a se fi ridicat la nivelul semnificațiilor generale.

Atît primele teorii, cît și celelalte, pun accentul pe lăstar ca unitate morfologică, mergînd astfel spre o împărțire prea absolută a organelor plantei. Cu toate acestea, ele rămîn simple speculații, în mare măsură formale. După Sachs (1875), termenii de tulpină și de frunză corespund „unor anumite relații ale părților unui tot care este lăstarul". Această concepție a fost dezvoltată în mare măsură de Agnes Arber (1930—1950), pentru care frunza (și chiar rădăcina) nu reprezintă decît un lăstar parțial. În realitate, dacă noțiunea de lăstar este mult mai satisfăcătoare decît cea de tulpină sau de frunză, cercetările de morfogeneză experimentală n-au reușit totuși să transforme „lăstarul parțial" în „lăstar total" (Wardlaw, 1949).

Un aspect interesant al morfologiei într-un domeniu învecinat îl constituie considerarea alternanței generațiilor în raporturile sale cu evoluția regnului vegetal și, mai ales, cu trecerea de la viața acvatică la viața terestră.

Teoria lui Bower, calificată drept antitetică și schițată de Celakovsky (1874), se baza pe ideea că sporofitul mușchilor ar fi o generație intercalată între doi gametofiți. La formele inferioare, sporofitul ar fi constat în întregime din țesutul sporogen, care, prin sterilizare progresivă și prin specializare, ar fi condus la sporofitul plantelor superioare.

În perioada în care a fost enunțată (1890—1908) această teorie alternanța nu fusese încă demonstrată la alge; se credea că briofitele reprezentau un stadiu intermediar între alge și plantele superioare. A. J. Eames s-a ridicat împotriva acestei concepții (1936) și, revenind la ideile lui Pringsheim, a susținut teoria organelor omoloage (Celakovsky), la care s-au aliat majoritatea specialiștilor contemporani. Alternanța izomorfică (sporofit și gametofit aparent asemănători), foarte răspîndită la alge, s-ar găsi la originea diverselor tipuri întîlnite; ea ar deriva dintr-un ciclu în întregime haploid prin suprimarea meiozei în momentul germinării zigotului.

Pornind de la noțiunea de poziție heterotrică, specifică algelor — care au unele dintre filamentele lor aplecate, iar altele ridicate —, Fritsch (1939, 1945) a arătat, într-un mod deosebit de remarcabil, cum s-ar putea imagina adaptarea progresivă a unor alge verzi la viaţa terestră, prin pierderea poziţiei aplecate. Muşchii ar fi singurii archegoniaţi care şi-au conservat poziţia lor heterotrică (gametofit înfrunzit şi ridicat, dar cu protonemă aplecată).

MORFOLOGIA CREŞTERII ŞI A DEZVOLTĂRII. FILOTAXIE. TEORIA FLORII. Teoriile amintite mai sus se refereau la problema legăturilor dintre frunză şi tulpină la „cormofite", precum şi la cea a legăturilor dintre „vegetativ" şi „reproductiv", din punctul de vedere al evoluţiei, sau, mai simplu, al ontogenezei. Deşi destul de sporadic, problema filotaxiei prezenta şi ea un interes paralel; lucrările lui Van Iterson (1907), Church (1904—1913), Arcy Thompson (1942), Plantefol (1946—47) şi Richards (1948) jalonează acest curent. Astfel au fost realizate mari progrese. În general, nu se mai consideră că faimoasa spirală generatoare ar fi altceva decît o linie imaginară, expresie geometrică a funcţionării regulate a meristemului şi care nu are prin ea însăşi nici o funcţie cauzală. Mai ales şcoala franceză a lui L. Plantefol a făcut eforturi pentru a dovedi realitatea elicelor multiple care ar rezulta din funcţionarea centrilor generatori de frunze situaţi în vîrfurile embrionare. În realitate, adevărul trebuie căutat la nivelul meristemelor, iar cercetările din acest domeniu îl vor scoate la iveală, prin numărul şi prin rezultatele lor.

Printre operele mai importante care au dat direcţia gîndirii contemporane în acest domeniu, se remarcă cea a lui A. Schmidt (1924) şi cea a lui M. şi R. Snow (după 1931).

Schmidt a iniţiat aceste cercetări în „Studii histologice asupra punctului vegetativ al fanerogamelor" (1924). Înlocuind concepţiile lui Nägeli şi Hanstein, teoria *tunica-corpus* a lui Schmidt, schiţată în mare măsură de L. Koch (1891) şi sprijinită de J. Buder (1928) şi de A. S. Foster (1939—41), prezintă o imagine destul de suplă a vîrfului vegetativ pentru a putea fi aplicată în majoritatea cazurilor. Conform acestei teorii, organul ar fi format din două zone, cu limite puţin riguroase şi destul de variabile: una masivă, *corpus*, în care celulele se divid fără nici o ordine, şi alta periferică, formată din straturi regulate, *tunica*.

Fiind comodă, teoria *tunica-corpus* a fost şi a rămas un bun instrument descriptiv. În urma lucrărilor lui G.P. Majumdar (1942), W.R.Philipson (1946), L. Plantefol şi R. Buvat (1947—55), au apărut concepţii noi; s-a încercat să se lămurească funcţionarea vîrfurilor vegetative în legătură cu formarea florilor şi a inflorescenţelor pe de o parte, precum şi cu structura perfect definită a ordinului filotaxic, pe de alta.

Asupra ultimului punct au fost formulate numeroase ipoteze, care au adus multe clarificări. Două dintre ele au fost primite deosebit de favorabil: „teoria repulsiei", propusă de J. H. Priestley, L. I. Scott (1933) şi Th. Schmucker, şi susţinută recent de Richards (1948), şi teoria „viitorului spaţiu utilizabil", a lui Snow.

În primul caz, frunzele ar lua naştere cît mai departe posibil de toate primordiile foliare existente, precum şi de vîrful apexului: acolo unde repulsia (care se poate datora unui inhibitor de creştere) este mai mică decît valoarea critică, ar apărea primordiul nou. Susţinută de Wardlaw (1949), teoria lui Snow porneşte de la Van Iterson şi admite că primordiul ia naştere la o anumită distanţă de vîrf, îndată ce apare un loc minim utilizabil.

Cu o măiestrie admirabilă, Snow inaugurează acest capitol esenţial al filotaxiei experimentale.

Teoria spiralei generatoare a pornit iniţial de la „filozofia naturii" şi de la ideile lui Goethe. Tot la Goethe se găseşte schiţată pentru prima dată şi teoria clasică a florii, căreia cercetările lui Van Tieghem (1871), Troll (1928—39), Eames (1931—51) aveau să-i furnizeze baze ştiinţifice. Spirala generatoare se prelungeşte în floare pînă la stamine şi pînă la carpelele purtătoare de ovule; staminele şi carpelele reprezintă deci frunze florale sporogene sau sporofile. Admisă încă de majoritatea botaniştilor, această teorie a întîlnit opoziţia categorică a multor altora (J.McLean Thompson, 1923—44; V.Grégoire, 1931—38; L. Plantefol, 1949).

Analiza meristemelor florale şi a genezei lor a suscitat interpretări diferite. Transformarea meristemului vegetativ, observată şi descrisă adesea, a fost negată în favoarea altei teorii care propune intervenţia unei porţiuni speciale, inactivă anterior, a vîrfului vegetativ. Astfel, părţile esenţiale ale florii ar avea un caracter *sui generis* şi ar rezulta din activitatea unui meristem predeterminat (Plantefol, Buvat).

Rezultatele morfogeneticii experimentale şi ale paleobotanicii sînt capabile să lămurească problema valorii morfologice a florii. Un curent unitar, schiţat încă din secolul al XIX-lea, ar trebui să permită apropierea tezelor existente; se pare că cercetările viitoare vor trebui să analizeze floarea angiospermelor în calitate de „lăstar vegetativ", transformat calitativ (sub acţiunea anumitor substanţe).

PALEOBOTANICA. Cercetările paleobotanice, dezvoltate în ultima jumătate de secol, au aruncat o lumină vie asupra evoluţiei regnului vegetal, din epoca iniţială, a bacteriilor şi a algelor, şi cea a mediului acvatic, care se situează în precambrian, adică acum aproape două miliarde de ani.

Aceste cercetări — studii ale lui E. W. Berry (1916), Cl. Reid şi M. E. J. Chandler (1933) — asupra florelor eocene etc. au evidenţiat aspectele ecologice şi chorologice ale analizei florelor dispărute şi au confirmat valoarea lor stratigrafică (cercetările lui Grand'Eury asupra carboniferului). Această analiză a reînnoit, dealtfel, unele noţiuni importante (lucrările lui R. Florin asupra cordaitelor) şi a condus la progrese importante ale concepţiilor noastre asupra originii marilor tipuri structurale şi asupra principalelor etape de diferenţiere şi de adaptare.

Foarte activ explorate, florele devoniene au furnizat date deosebit de importante.

Englezii F. W. Oliver şi D. H. Scott (1903) au stabilit că, începînd din devonianul mijlociu, existau tipuri de „ferigi cu seminţe", spermatofite sau plante vasculare cu seminţe, reprezentate în zilele noastre de gimnosperme şi de angiosperme. Ei au arătat că anumite seminţe fosile ar proveni de la astfel de plante, numite pteridosperme, ale căror diverse tipuri au fost de atunci descrise.

Pe de altă parte, explorînd stratul devonian de la Rhynie, în Scoţia, R. Kidston şi W. H. Lang au creat clasa Psilofitale, adăugînd la genul *Psilofiton*, descris de Dawson în 1859, alte trei genuri noi *(Rhynia, Horneea (Horneophyton)* şi *Asteroxylon)*, dintre care primele două nu aveau nici rădăcini şi nici frunze, în schimb prezentau elemente vasculare.

Astăzi se consideră că psilofitalele nu au fost primele plante vasculare. Plante de acest tip, înrudite cu licopodialele, au fost, de fapt, descoperite în silurianul mijlociu din Australia (Lang şi I. C. Cookson, 1935) şi apoi în cambrianul mijlociu din Siberia orientală (A. N. Krichtofovici, 1953). De asemenea, au fost descrişi (S. N. Naumova) spori din cambrianul inferior şi mijlociu. Aceste fapte confirmă rezultatele palinologilor care atribuie florelor din cambrian, silurian şi din devonianul inferior o varietate mult mai mare decît se presupunea pînă atunci. Şi alte descoperiri merită a fi menţionate.

Lui G. R. Wieland i se datoresc o serie de admirabile articole asupra benetitalelor din cretacicul inferior şi din wealdianul din Statele Unite (1906—16), în care sînt descrise inflorescenţele complete de pe trunchiurile de *Cycadeoidea*, o plantă de tip gimnosperm, care anunţa în mod remarcabil angiospermele. De asemenea, H. Thomas (1925) a descris un grup de plante din jurasic, care aminteau în mare măsură angiospermele.

În ultimii 15 ani au fost efectuate diverse descoperiri, dintre care unele ridică noi probleme. Aşa sînt: unele pentoxilacee din jurasicul din India (B. Sahni, 1948); voinovskyalele, plante cu seminţe foarte deosebite, din permianul din Siberia (M. F. Neuburg, 1955); structuri vegetale, probabil talofite, din precambrianul din Ontario, vechi de 1700 milioane ani (S. A. Tyler şi S. E. Barghoorn, 1954) etc.

S-a pus întrebarea dacă paleobotanica, care şi-a păstrat tot prestigiul său în primul sfert al secolului al XX-lea, dovedit de publicarea unor mari tratate (A. C. Seward, 1898—1919; D.H. Scott, 1920—30; M. Hirmer, 1927), îşi va regăsi ritmul şi încrederea, pe care părea a le fi pierdut. Teamă zadarnică: rezultatele obţinute după ultimul război mondial dovedesc că ea cunoaşte un avînt excepţional.

PALINOLOGIE. Ştiinţă în curs de dezvoltare, care şi-a primit denumirea recent (A. Hyde, 1944), palinologia sau studiul sporilor şi al polenului se dezvoltă intens. Reprezentată printr-o secţie independentă la Congresul Internaţional de Botanică din 1954, palinologia are două reviste de specialitate („Grana Palynologica", Stockholm şi „Pollen et spores", Paris). Colecţia, constituită în Suedia, are nu mai puţin de 20 000 de specii.

Încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, cercetările lui H. Fischer au subliniat interesul studiului morfologic al grăuncioarelor de polen. Lucrările lui G. Lagerheim, şi apoi ale lui L. von Post (1916), au pus la punct metoda statistică de analiză polenică a turbelor. Au apărut astfel două mari direcţii de cercetare: una în sensul taxonomie-filogenie, alta spre geologie. Prima a luat o mare amploare în urma lucrărilor americanului R. P. Wodehouse (1935) şi ale suedezului G. Erdtman (1943, 1952). În acest fel, palinologia a furnizat una dintre bazele cele mai solide taxonomiei ranalelor lemnoase, în calitatea lor de grup primitiv de angiosperme (Wodehouse).

Un viu impuls este dat actualmente acestei ştiinţe de cercetările stratigrafice, şi mai ales de prospectarea petrolului, dar palinologia interesează un domeniu de cercetări mult mai vast şi în special medicina (alergia, guturaiul fînului, astmul) şi agricultura (biologia florală, apicultura).

XILOLOGIE ŞI ANATOMIE. Ca şi palinologia, xilologia, considerată în sensul restrîns, de studiu structural al xilemului (lemn), a cunoscut două dezvoltări privilegiate, dintre care una în serviciul filogeniei şi alta ca metodă auxiliară a geologiei stratigrafice. I. W. Bailey, de la Universitatea Harvard, a formulat principiile generale ale acestei ştiinţe.

În urma unei vaste cercetări asupra grupului plantelor vasculare fosile şi vii, Bailey şi W. W. Tupper au arătat (1918) că există o legătură între micşorarea primordiilor fusiforme şi a elementelor lemnoase pe care ele le produc, pe de o parte, şi specializarea evolutivă, pe de alta. Această lege simplă şi elegantă a dus la cercetările clasice ale lui F. H. Frost (1930) asupra originii şi evoluţiei vaselor din xilemul secundar, la cercetările lui D. A. Kribs asupra parenchimurilor, ale lui Barghoorn etc. Pe de altă parte, V. I. Cheadle a studiat structura vasculară a monocotiledonatelor (1940—44). Astfel, evoluţia sistemelor vasculare devine un instrument preţios pentru filogenişti.

Ajutorul cel mai serios adus în sprijinul anumitor noţiuni importante se datoreşte anatomiştilor: caracterul primitiv al plantelor lemnoase faţă de ierburi, lipsa unor legături filetice directe între mono- şi dicotiledonate, între gimnosperme şi angiosperme etc. Rezultatele obţinute asupra părţilor vegetative ale angiospermelor, după publicarea tratatului lui H. Solederer (1908), au fost strînse şi coordonate într-o publicaţie monumentală (C. R. Metcalfe şi I. Chalk, 1950, 1960).

Scoarţa copacilor, şi mai ales floemul secundar, ca şi floemul primar, ca regiuni care conţin tuburile perforate şi joacă un rol esenţial în transportul vertical al sevei, s-au bucurat de o atenţie deosebită, subliniată de lucrările lui E. Esau (1933—48), care a studiat legătura dintre structură şi funcţie. A. S. Craft a introdus (1934—51) noţiunea unei comunităţi de caractere proprii atît tuburilor perforate ale fanerogamelor, cît şi anumitor ţesuturi ale plantelor nevasculare (briofite şi alge brune), noţiune care duce la cea a „primitivităţii“ floemului faţă de xilem.

EMBRIOLOGIE. Ştiinţă a embrionului şi a dezvoltării oului, embriologia vegetală studiază de asemenea toate regiunile embrionare (muguri, cambiul plantelor lemnoase). Rezultă două direcţii paralele de cercetări: embriologia oului şi embriologia vîrfurilor vegetative, prezentate anterior.

În ciuda remarcabilelor lucrări ale lui J. Hanstein (1870), M. Treub, L. Guignard, D. H. Campbell (1897, 1905), la începutul acestui secol embriologia era încă în căutarea căilor de dezvoltare. Faptele elementare mai importante fuseseră totuşi descoperite (printre care şi dubla fecundare, 1898—99), iar tehnicile histologice moderne ale secţiunilor în serie şi colorate au intrat în practică. După 1910, R. Souèges iniţiază studiul embrionului la angiosperme. Timp de o jumătate de secol de muncă asiduă, în condiţiile grele şi împotriva unei indiferenţe aproape generale, acest savant a urmărit la aproape 150 de specii filiațiile celulare, începînd de la ou și pînă la embrionul adult; el a enunțat legile segmentării blastomerelor (1937) și a elaborat un sistem de clasificare a tipurilor embriogenice (1939). După 1920, J. T. Buchholtz a dezvoltat embriologia gimnospermelor. Prin 1930, importanța rezultatelor obținute a justificat publicarea unui mare tratat de embriologie a fanerogamelor (K. Schnarf, 1929—33).

Lucrările lui D. A. Johansen (1950), P. Maheshwari (1950) și C. W. Wardlaw (1952, 1960) arată interesul pe care-l prezintă actualmente acest domeniu de cercetări. Noile probleme legate de progresul fiziologiei (conservarea polenului, germinarea, poliembrionia, partenogeneza etc.) și introducerea metodelor experimentale (culturi de embrioni segmentați) au contribuit la dezvoltarea cercetărilor.

CITOGENETICĂ. Anul 1900, martorul nașterii explozive a geneticii, imprimă un impuls dintre cele mai viguroase citologiei, precum și o direcție privilegiată și restrictivă: studiul nucleului. Încă din 1903, a fost sesizată legătura dintre cromozomi și transmiterea mendeliană a caracterelor (lucrările școlii lui E.B. Wilson și W. S. Sutton). După această dată, cariologia cunoaște o mare răspîndire, fiind ilustrată de maeștri, ca F. A. Janssens, V. Grégoire, P. Martens în Belgia, E. Heintz în Germania, C. D. Darlington în Anglia. Solicitată de genetică, citologia nu a avut curajul să recurgă prea mult la cariologie și nici să se dilueze în mare parte în știința eredității, la a cărei edificare a contribuit intens sub denumirea de citogenetică[1]. Ea a scos în evidență bazele materiale ale teoriei cromozomice a eredității: studiul structurii, al fiziologiei, al divizării cromozomilor etc. Împreună cu genetica, ea a repus pe picioare darvinismul și a pus bazele biosistematicii. Într-o măsură mai modestă, a ajutat și continuă să ajute taxonomia tradițională.

Unul dintre aspectele cele mai interesante ale cariologiei vegetale l-a constituit studiul anumitor mutații de ansamblu ale cromozomilor unui gamet, denumite poliploidie și aneuploidie (G. Täckholm, 1922). După primele observații ale lui A. M. Lutz (1907) și R. R. Gates (1909), și mai ales după descoperirea de către belgianul A. P. Dustin și colaboratorii săi (1934, 1937) a efectelor colchicinei, poliploidia a constituit obiectul unor cercetări extrem de fecunde. Colchicina, extras din *Colchicum autumnale*, permite de fapt blocarea mitozelor în metafază și deci obținerea reconstituirii nucleului cu un număr dublu de cromozomi. Curînd cercetările au fost extinse asupra regnului vegetal (A. F. Blakeslee și școala sa, D. T. Avery, P. și N. Gavaudan, G. Mangenot, M. Simonet).

Poliploidizarea, care intervine în urma anumitor accidente ale meiozei sau ale mitozei, pare a avea un rol major în evoluție: după unii autori, ar exista cel puțin 30% specii poliploide printre angiosperme. Mai multe exemple clasice dovedesc rolul poliploidizării în geneza speciilor, ca mijloc de izolare sexuală și de stabilizare a individului hibrid; unul dintre cele mai recente exemple îl constituie studiul lui H. Kihara (1954) asupra lui *Aegilops* din regiunea mediteraneană, specie poliploidă cu o arie de răspîndire foarte mare și în centrul căreia se găsesc și „părinții“ săi diploizi.

---

[1] Un studiu de ansamblu al progreselor geneticii este expus de A. Tétry (pag. 709—722).

CITOLOGIA CLASICĂ. Alături de remarcabilele cuceriri ale citogeneticii, citologia clasică și-a continuat drumul său în strînsă legătură cu evoluția metodelor, evoluție agitată și care a dus uneori la descurajări regretabile. Majoritatea principalilor componenţi ai celulei vegetale: citoplasmă, nucleu, plastide, mitocondrii sau condriozomi, pe de o parte, și membrane, vacuole și incluziuni lipidice, pe de alta, au fost observate încă din secolul al XIX-lea (mitocondriile vegetale fiind descoperite abia în 1904, de F. Meves); dar numai după 1910–12, cercetările lui G. Lewitsky și cele ale lui A. Guilliermond vor aduce mai multă lumină asupra citoplasmei și elementelor ei. Între 1910 și 1930, școlile franceze — ale lui Guilliermond, G. Mangenot, L. Emberger sau P. A. Dangeard — au reușit să stabilească schema fundamentală a celulei clorofiliene cu ajutorul metodei clasice a secţiunilor în serie (*Traité de cytologie*, a lui Guilliermond, Mangenot și L. Plantefol, 1933).

Nu vom mai insista asupra imenselor progrese realizate după 1940 în metodele citologice[2]. Această revoluție a provocat un salt în cunoștințele noastre, a furnizat noi puncte de vedere, confirmînd sau precizînd pe cele vechi.

Studii recente au confirmat vechea teorie a lui A.F.W. Shimper și A. Meyer, după care plastidele sînt elemente celulare permanente ce se transmit prin diviziune. Aceste mici organite lenticulare, de 4–6 μ în diametru, întîlnite în orice celulă verde în număr de mai multe zeci, derivă din protoplastele transmise de citoplasma maternă. Sînt oare comparabile, din acest punct de vedere, plastidele și mitocondriile? Studiile efectuate cu ajutorul microscopului electronic par să confirme continuitatea genetică a mitocondriilor (F.J. Sjöstrand, 1956) și a plastidelor (S. Strugger, E.S. Perner), linii diferite capabile de mutații, dar problema autoreproducerii mitocondriilor nu pare a fi definitiv lămurită.

Structura cloroplastelor a fost studiată la microscopul optic de E. Heitz (1932), Frey-Wyssling, Strugger, P. Dangeard. Concepţia unei structuri granulare și lamelare a cloroplastelor — pe care ei au schițat-o — a fost confirmată prin observații la microscopul electronic (H. Leyon, 1953; Sjöstrand etc.). Cloroplastul este format din două părți (observații efectuate de Mohl încă din 1837, dar negate de Guilliermond): o substanță proteică fundamentală — stroma —, care conține lamele paralele dispuse după marea axă plastidială; în anumite locuri, lamelele îngroșate și apropiate formează granule (Meyer, 1883) în care clorofila este fixată conform unei scheme precise.

Mitocondriile sînt corpuri de formă și de lungime foarte variate, al căror diametru nu depășește în general 0,5 μ și care au o structură complicată, descoperită după 1952 (G.E. Palade, Sjöstrand). Ele prezintă o membrană periferică dublă, aderentă de cristele sau de tubulii care pătrund profund în substanța fundamentală. Sînt foarte numeroase și mereu în mișcare; se cunoaște de vreo 10 ani faptul că ele reprezintă centrii respiratori ai celulei; activitatea lor oxidativă pare a fi în legătură cu dezvoltarea cristelor, în care se află sediul a numeroase enzime.

---

[2] Vezi și studiile lui R. Kehl (pag. 605–624) și A. Tétry (pag. 672–674).

Analiza structurală a celulei s-a dezvoltat într-un mod spectaculos. Probleme vechi, ca cea a ergastoplasmei (Prenant), a corpilor lui Golgi (regăsiţi de Buvat în celula vegetală, 1958) şi a structurii fibrilare a nucleului, au revenit pe primul plan al actualităţii.

S-a descoperit că membrana nucleară este dublă şi prezintă pori, dintre care unii sînt suficient de mari pentru a permite traversarea macromoleculelor. Pătura exterioară (J.D. Watson, 1955) pare a fi în legătură cu o reţea de canalicule şi de vezicule ce traversează citoplasma de la o membrană la alta, formînd reticulul endoplasmic (K.R. Porter şi F.L. Kallman, 1952), a cărui identitate cu ergastoplasma a fost dovedită (1953). Membrana citoplasmică externă (plasmalema) este, de asemenea, dublă, iar pătura internă pare a se continua cu reticulul endoplasmic (Palade, 1955—1956). Acestui reticul îi sînt, în general, asociaţi ribozomii, particule osmiofile ale ribonucleazelor, care ar constitui principalele sedii ale sintezei proteinelor. Izolaţi prin centrifugare, ribozomii au putut fi folosiţi, în condiţii adecvate, la sinteza *in vitro* a proteinelor. Structurile cunoscute sub denumirea de microzomi, la care sînt ataşaţi ribozomii, nu ar fi altceva decît porţiuni smulse din reticul. Aceste structuri, puse în evidenţă recent, demonstrează existenţa unei lumi bănuite încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, dar care părea imposibil de descoperit.

Cunoştinţele noastre asupra structurii nucleului şi asupra legăturilor funcţionale ale acestuia au progresat mult mai greu, cel puţin din punctul de vedere al observaţiei directe. Aceasta în ciuda faptului că nucleul este „aparatul" cel mai important al celulei. El este însă fragil şi necesită o manipulare delicată.

R. Feulgen (1924) a pus la punct o reacţie specifică, simplă şi sensibilă, care permite detectarea componentului său esenţial: acidul dezoxiribonucleic (ADN). În colaborare cu M. Behrens (care a reuşit izolarea nucleului în 1938), Feulgen a arătat că ADN este o substanţă caracteristică a nucleului celulei, inclusiv a celei vegetale (1937). Reacţia lui Feulgen a permis mai ales punerea în evidenţă cu certitudine a existenţei unui „protonucleu" la bacterii (C.E. Robinow, 1942—1945). Acidul ribonucleic, sau ARN, care părea caracteristic citoplasmei, a fost detectat şi în nucleu (J. Brachet, 1942), în care nu s-ar găsi însă decît într-o mică cantitate. Acum se ştie că nucleolii, mici corpusculi de 1—3 μ diametru, asociaţi nucleului, dar independenţi (care au fost izolaţi prin centrifugare de către A. Hughes, 1952), conţin o importantă proporţie de ARN. Nucleul mai conţine lipide şi, în mare cantitate, proteine şi alţi componenţi.

Aceste cercetări, dominate de biochimie, sînt în plină dezvoltare. Se poate considera că ne găsim în ajunul uneia dintre cele mai mari revoluţii din istoria omenirii. Pare deja stabilit faptul că ADN-ul conţine „informaţia" codificată care controlează sinteza macromoleculelor specifice. Iar specificităţile, adică eredităţile, ar fi determinate de o simplă dispunere geometrică a patru unităţi de nucleotide în ADN. ARN-ul ar interveni în sinteza proteinelor celulei şi ar asigura transmiterea ordinelor de la ADN, şi aceasta în toată celula. Pătrunderea în intimitatea structurală şi funcţională a celulei, atît de impresionantă în ultimele decenii, a întărit în mod considerabil teoria celulară, deşi ea nu a condus deocamdată la descifrarea totală a unor mecanisme.

B. BOTANICA DE TEREN ŞI FITOGEOGRAFIA

1. Studii biologice şi floristice. Explorări

CERCETAREA CLASICĂ. Studiul florei comportă trei faze principale: 1) explorarea pe teren şi colectarea materialului vegetal; 2) clasificarea şi conservarea materialului cules, în marile ierbare sau în colecţiile vii ale grădinilor botanice; 3) publicarea florelor regionale sau continentale şi a unor studii monografice asupra speciilor, genurilor sau familiilor; toate acestea reprezentă lucrări aproape de nedespărţit de taxonomia teoretică şi de biogeografie.

O operă gigantică, referitoare la întreg globul pămîntesc, şi care continuă în ritmul ştiinţei contemporane, a fost realizată sub aceste trei aspecte. Se descoperă în fiecare zi specii noi, genuri noi şi uneori chiar familii şi ordine noi (ca, de exemplu, la talofite).

După anumite evaluări, numărul de specii cunoscute ar atinge numărul de 350 000, dintre care 200 000 fanerogame, 90 000 ciuperci, 23 000 briofite, 20 000 alge, 7 000 pteridofite. Într-o jumătate de secol au fost efectuate descoperiri de o importanţă teoretică extremă[3]. Rămîn însă de descoperit alte zeci de mii de specii. Imense teritorii tropicale sînt încă parţial necunoscute. Astfel este un întreg masiv malgaş (din insula Madagascar) care a fost explorat pentru prima dată în 1950 (H. Humbert); de asemenea, se mai găsesc specii necunoscute chiar şi în regiunile cele mai cercetate ale Statelor Unite. Multe medii — soluri, ape dulci, marea — nu ne-au dezvăluit decît o infimă parte din bogăţia lor în fiinţe vii şi în special în ciuperci.

O COTITURĂ ÎN CERCETARE. Dar în acest domeniu al explorării botanice şi al floristicii, secolul al XX-lea a dobîndit, la început progresiv iar în ultimii ani tot mai rapid, un aspect nou, a cărui originalitate trebuie subliniată.

Expediţiile spectaculoase din secolul al XIX-lea, ca şi marile aventuri individuale, asociate uneori cu pătrunderea militară în ţări necunoscute, aveau la origine fie curiozitatea sau interesul speculativ, fie preocupări utilitare, fie ambii factori, dar, în orice caz, erau empirice şi improvizate; ele aveau mai degrabă aspectul unor sondaje într-un univers îndepărtat ce părea etern şi practic inepuizabil.

Încă de pe atunci, omenirea a început să-şi dea seama de un fapt fundamental şi dramatic: acoperămîntul vegetal al planetei noastre se degradează într-un ritm rapid: dispar pentru totdeauna fiinţe vii despre care nu se ştie sigur dacă ştiinţa şi însuşi viitorul omenirii nu vor depinde într-o zi; se degradează în mod iremediabil solul, care se întăreşte sub forma unei cruste sterile, sau este cărat spre mare, transportat de ape sau de vînturi. Pe lîngă aceasta, hegemonia civilizaţiei noastre, mai ales tehnica, ameninţă să nimicească ceea ce a mai rămas din civilizaţiile numite primitive şi care, de fapt, sînt moduri de viaţă foarte complexe şi de o înaltă cultură, fructe ale unei experienţe milenare, adaptate la medii care ne sînt, în mare parte, încă necunoscute. Este deci necesară „salvarea naturii": plante, animale, soluri, civilizaţii.

---

[3] De exemplu, descoperirea genurilor *Degeneria*, din insulele Fidji (1934), una dintre cele mai primitive angiosperme vii; cea a *Styliților* din Peru (1957), al doilea gen cunoscut în stare vie din ordinul Izoetale (pteridofite), abundent reprezentat în pădurile din carbonifer.

Această înţelegere a situaţiei de către naturalişti şi etnologi s-a tradus îndeosebi prin crearea Uniunii Internaţionale pentru Protecţia Naturii, U.I.P.N. (Bruxelles, 1947), devenită Uniunea pentru Conservarea Naturii (şi a resurselor sale), U.I.C.N. Ea a dus la renaşterea botanicii de teren, concepută nu ca agrement, ci ca ştiinţă de bază, atît pentru biologie, cît şi pentru etnologie sau economie; ştiinţă de bază care devine normativă ca şi pedologia, ecologia, etnobotanica, ştiinţe apărute în acest secol sub presiunea aceloraşi evenimente, fie umane (războaie mondiale, decolonizare, lupta împotriva foametei, apariţia statelor socialiste), fie tehnice (transporturi rapide şi comode), fie ştiinţifice (succesul darvinismului, triumful geneticii).

Mai ales două ţări au păşit pe aceste căi noi: U.R.S.S. şi Statele Unite. Două ştiinţe recente, etnobotanica şi biosistematica, ilustrează în mod deosebit această orientare.

VAVILOV ŞI RENAŞTEREA BOTANICII APLICATE. În U.R.S.S., unde grija de a lega strîns teoria şi practica a prevalat întotdeauna, cercetările de acest tip au avut, în special datorită lui N.I. Vavilov, o dezvoltare necunoscută în alte părţi. Atacată foarte viguros de un alt compatriot renumit, T. Lîsenko, opera teoretică şi practică a lui Vavilov este deosebit de remarcabilă. Lui Vavilov i se datoresc, dacă nu noţiuni demonstrate, cel puţin unele idei extrem de fecunde: cea a existenţei unor centre de origine sau leagăne ale plantelor cultivate şi ale rudelor lor apropiate, acolo unde se întîlneşte cea mai mare diversitate a speciei (1926—34); cea a variaţiilor omoloage (1920) între familii, genuri, specii sau varietăţi înrudite, noţiune care permite prevederea şi determinarea variaţiei în cadrul anumitor populaţii de plante sau de animale; de asemenea, cercetări clasice asupra geografiei *imunităţii* (1919).

Opera lui Vavilov şi a şcolii sale de la Institutul de botanică aplicată din Leningrad (400 staţiuni experimentale) reprezintă un efort excepţional, cel mai mare care a fost făcut vreodată pentru cunoaşterea, utilizarea şi ameliorarea pe baze genetice, precum şi pentru conservarea resurselor vegetale ale Pămîntului. Institutul a organizat numeroase expediţii, şi mai ales cele pentru grîu (1924—33), care au colecţionat o cantitate uriaşă (31 000 specii) de material varietal, şi cea a cartofului (1925—26), din America de Sud, care a permis acumularea unui material de o valoare nepreţuită, de bază pentru cercetările clasice ale lui S. M. Bukasov (1932).

Introducerea unor plante noi în U.R.S.S. şi eventuala lor aclimatizare sînt întreprinse acum de stat. Ele s-au dezvoltat mai ales în urma lucrărilor lui I. V. Miciurin şi au dus la rezultate practice foarte importante (cultura unor plante subtropicale, ca *Citrus*, *Eucalyptus*, *Aleurites* etc. în regiunile Mării Negre, ale Caucazului şi ale Crimeei) şi elaborarea unei teorii a aclimatizării (V. P. Maleiev, 1933; P. A. Baranov etc.).

MARILE EXPEDIŢII AMERICANE. Statele Unite au acţionat la rîndul lor, iar rezultatele pe care le-au obţinut sînt de cea mai mare importanţă. Au fost stabilite planuri referitoare la arborele de chinchină *(Cinchona)*, la tutun *(Nicotiana)*, la arborii de cauciuc, la studiul mediilor arctice etc.

Douăzeci şi doi de taxonomişti renumiţi (W. C. Steere, J. A. Steyermark, F. R. Fosberg, J. Ewan etc.) au participat la explorarea genului *Cinchona* (1942—45) pentru a stabili şi a carta, după cum afirmă B. Maguire (1958), suprafeţele de răspîndire a genului, abundenţa populaţiilor, pentru a strînge toate informaţiile şi a recolta materialul necesar studiului taxonomic al speciilor acestui gen şi plantelor strîns înrudite.

Încă din secolul al XIX-lea, Statele Unite au fost preocupate să participe la inventarul floristic al globului şi să realizeze colecţii vii. În 1890, *Departamentul Agriculturii din Statele Unite* devine organismul răspunzător de introducerea şi aclimatizarea unor plante şi îşi asigură colaborarea unor personalităţi, ca D. Fairchild, care a fost unul dintre cei mai celebri exploratori de plante utile. Colecţia sa de specii de grîu numără actualmente 12 000 de tipuri, iar cea de orz, 5 000.

ETNOBOTANICA. Este o ştiinţă tînără, abia definită, care se ocupă de legăturile dintre omul primitiv şi plante; etnobotanica este o ştiinţă aplicată prin definiţie. Ea se dezvoltă într-un ritm accelerat, încercînd nu numai să înţeleagă şi să salveze resturile rarisime ale imensului geniu al societăţilor străvechi, ci şi să tragă foloase.

Am învăţat acum vreo 10 ani să combatem rîncezirea untului cu ajutorul unui extras de plante *(Larrea)*, folosit de indienii din Nevada. De la popoarele antice din Asia, Africa şi America ne-au rămas *Rauwolfia serpentina*, ignamele, *Strophantus*, agavele, *Lophophora*, *Psilocybele* şi alte plante-droguri.

Descoperirea empirică a antibioticelor pare a putea fi pusă pe seama indienilor din America de Nord, care foloseau pămîntul şi lemnul putred pentru a vindeca rănile. Proprietăţile ciupercilor în lupta împotriva infecţiilor erau în orice caz cunoscute de mult timp de chinezi.

Fără a participa în vreun fel, etnobotanica a fost clarificată de cercetările asupra ciupercii *Penicillium* şi s-a dovedit cu această ocazie ca o metodă esenţială pentru farmacognozie. O a doua etapă importantă a fost evidenţiată prin atribuirea Premiului Nobel în medicină, pe anul 1950, lui T. Reichstein, care a reuşit să realizeze sinteza cortizonului din seminţe de *Strophanthus*. Cercetările etnobotanice efectuate cu această ocazie au permis mai ales găsirea unor plante superioare acesteia ca surse de cortizon *(Igname mexicane)*.

Recentele contribuţii ale etnomicologiei (R. E. Schultes, 1938; R. G. şi V. P. Wasson, R. Heim şi colaboratorii, 1953—58) au dus la descoperirea şi apoi la sintetizarea unor noi substanţe (A. Hofmann şi colaboratorii, 1958), folosite în psihiatrie. Acest ansamblu admirabil de cercetări este expus în două lucrări: *Mushrooms, Russia and History* (Wasson, 1957) şi *Champingnons hallucinogènes du Mexique* (R. Heim, R. G. Wasson şi colaboratorii, 1958), care prezintă etnobotanica atît ca o teorie explicativă, cît şi ca o documentaţie etnologică şi o ştiinţă aplicată.

BIOSISTEMATICA ŞI STUDIUL SPECIILOR. Botanica de teren, avînd o bază geografică, a dat naştere unei alte ştiinţe, încă restrînse, dar care atrage pe cei mai buni taxonomişti, şi anume biosistematica. Fiind deja foarte omogenă în metodele şi în scopurile sale, această ştiinţă a apărut, după cum indică şi numele său, din combinarea a două curente. Sistematica clasică îşi propunea — în secolul al XVIII-lea — să efectueze inventarul fiinţelor vii (vieţuitoarelor), să stabilească sistemul de unităţi taxonomice (taxonii lui H.S. Lam, 1948) şi îşi îndrepta atenţia prin definiţie asupra fiinţei *multiple şi fixe*. În secolul al XIX-lea ea s-a apropiat de biologie, pe atunci o ştiinţă tînără, preocupată de natura vieţuitoarelor ca *unicate* şi în *mişcare*. Acest conflict avea să se accentueze după apariţia geneticii, care avea să revoluţioneze în mod spectaculos noţiunea de specie a lui Linné.

În cele din urmă, sistematica a beneficiat de unele contribuţii, tot mai mari, din domeniul biologiei, îmbogăţite cu cele din genetică. Această colaborare a dus la apariţia biosistematicii sau taxonomiei de avangardă, care se deosebeşte de sistematica clasică prin faptul că, fiind preocupată de formarea taxonilor, ea îşi limitează domeniul la studiul polimorfismului şi al speciilor, ai căror pionieri au fost A. Jordan şi G. Bonnier (1900). Genetica devenea astfel taxonomie, în timp ce taxonomia însăşi devenea o ştiinţă experimentală.

Experienţele lui Bonnier asupra plasticităţii speciilor şi asupra ecoformelor staţionare neereditare au fost reluate în mod riguros în America (F. E. Clements şi Hall, D. I. Mac Dougall), dar direcţiile moderne au fost trasate de lucrările lui G. Turesson (1922—31) şi ale geneticienilor. Lui Turesson i se datoresc noţiunile de *ecotip* şi *ecospecie*. I. W. Gregor şi şcoala sa au definit ecotipul ca fiind „o populaţie ce se distinge prin caractere morfologice şi fiziologice, în general de natură cantitativă, prin fertilitate în încrucişările cu alte ecotipuri ale ecospeciei, dar care este împiedicată în mod practic să facă un schimb liber de gene datorită barierelor ecologice", în timp ce ecospeciile sînt specii elementare ce compun o specie colectivă, *denumite cenospecii*. Astfel, aceste studii se înscriu pe linia lucrărilor lui Jordan, fiind însă îmbogăţite de aporturile geneticii şi ale ecologiei. {Numeroşi geneticieni şi ecologi au jucat un rol important în apariţia acestei ştiinţe, dar aceasta nu s-a maturizat decît odată cu publicarea, între 1940 şi 1950, a cîtorva opere importante ale lui L. Clausen, D. D. Keck şi W. M. Hiesey, E. B. Babcock, G. L. Stebbins. Lucrarea colectivă a lui J. Huxley, *The new systematics* (1940) a contribuit, de asemenea, în mare măsură la introducerea unui nou spirit. Zece ani mai tîrziu, marea lucrare a lui Stebbins, *Variation and evolution in plants* (1950), precum şi remarcabila operă a lui Clausen, *Stages in the evolution of plant species* (1951), au dovedit amploarea şi fecunditatea darvinismului modern.

EXPLORATORI. IERBARE. FLORE. Nu trebuie totuşi să acordăm acestor ştiinţe tinere, legate de botanica de teren, un loc în istorie pe care nu îl merită încă. Fără îndoială că ele deschid drumuri noi spre viitor şi întăresc bătrîna botanică, dar ce ar fi ele fără infrastructura elaborată neîncetat de la Tournefort încoace?

Importanţa progreselor din ştiinţa plantelor se măsoară şi astăzi pe baza ierbarelor şi a cercetărilor legate direct de explorarea şi creşterea colecţiilor. Floriştii şi taxonomiştii sînt şi ei prezenţi, constituind marea armată.

Diversitatea personalităţilor care o slujesc face ca această ştiinţă să aibă un caracter deosebit: alături de savanţi inegalabili, de talia unui Merrill, a unui Marie-Victorin sau Perrier de la Bâthie, se situează călători întreprinzători, uneori fără prea multe cunoştinţe, ca E. Poilane, care este unul dintre cei mai mari colecţionari de plante din toate timpurile. Lui Poilane i se datoreşte realizarea unui ierbar de 30 000 de plante (120 000 de specimene), care reprezintă materialul de bază al marii lucrări *Flore d'Indochine*, a lui H. Lecomte şi F. Gagnepain, precum şi descoperirea unui mare număr de plante folositoare, remarcabile. Între tipurile extreme reprezentate de Merrill şi Poilane se găsesc numeroşi cercetători foarte diferiţi, care au însă comună credinţa şi pasiunea naturalistului.

Flora arctică boreală, cea a Statelor Unite, cea din America Centrală şi meridională, din Africa tropicală, din Asia (Malaezia, insulele Pacificului etc.) au fost amănunţit prospectate şi studiate de botanişti-exploratori de prestigiu, prea numeroşi însă pentru a-i putea enumera aici.

Această cercetare de teren a permis creşterea considerabilă a colecţiilor. Cele mai mari ierbare din lume referitoare la plantele vasculare (Kew, British Museum, Institutul Komarov din Leningrad, Muzeul din Paris) numără acum peste 5 milioane de specii fiecare[4]. Au putut fi elaborate numeroase şi remarcabile flore generale sau regionale: Franţa, Europa centrală, U.R.S.S., America de Nord, Peru, Africa occidentală tropicală, Coasta de Fildeş, Africa de sud, Surinam, Noua Zeelandă etc. Florele, a căror elaborare se efectuează în zilele noastre, se bazează atît pe cunoştinţele vechi, cît şi pe studii noi, efectuate intens de numeroşi taxonomişti şi florişti. După 1940, un mare număr de flore au fost iniţiate, dintre care unele au început să vadă lumina zilei: Brazilia, Panama, Africa orientală tropicală, Sahara, Congo etc. Două flore recente pot fi citate ca fiind deosebit de reprezentative pentru noul curent; acestea sînt cele ale Californiei (Munz şi Keck, 1959) şi ale Malaeziei (Van Steenis, după 1945).

Explorarea s-a concretizat, de asemenea, şi prin publicarea unor lucrări speciale cu caracter aplicativ, cum sînt cele consacrate arborilor. Ea a servit drept bază şi unor importante revizuiri monografice, publicate fie sub formă separată, fie sub forma unor mari enciclopedii, cum sînt cele ale lui A. Engler şi K. Prantl: *Pflanzenreich*, *Die natürlichen Pflanzenfamilien*, la care au colaborat numeroşi botanişti.

Fiind ştiinţe de bază, strîns legate de explorare, floristica şi taxonomia monografică profită în parte de două ştiinţe învecinate, geografia botanică şi taxonomia generală.

---

[4] Ierbarul din Berlin-Dahlem număra aproape 4 milioane specii, înainte de a fi fost distrus de bombardamente (1943). Colecţiile de la Harvard University şi de la Geneva sînt de aproape aceeaşi mărime. Urmează apoi ierbarele de la Calcutta, Washington, New York etc., cu peste 2 milioane de specii.

2. Geografie. Ecologie

Ca şi taxonomia clasică, geografia plantelor este un imens capitol al ştiinţelor naturii care se ocupă de evoluţia regnului vegetal de-a lungul timpului, iar datele geografice nu intervin decît ca suport. Această geografie floristică şi istorică se ocupă cu problemele referitoare la răspîndirea speciilor, a genurilor, a familiilor (cercetările arealografice sau chorologice ale lui H. Vester, 1940; H. Meusel, 1943; etc.), la florele fosile (E.W. Berry, R.W. Chaney, A.C. Seward, D.I. Axelrod etc.), la geneza florelor; ca metodă, această ştiinţă se bazează mai ales pe studiul ierbarelor şi al documentelor paleontogeologice.

La un nivel superior, datele geografice nu mai reprezintă azi un suport pasiv, ci un factor în crearea de plante, făcînd parte dintr-un complex de factori, dintre care unii interiori fiinţei vii (genetici), iar alţii, exteriori (ecosistem). La nivel cauzal contemporan, biosistematica şi biogeografia nu reprezintă decît două aspecte ale aceleiaşi ştiinţe.

Alături de acest curent taxonomic s-a dezvoltat şi o altă ramură importantă a geografiei, legată de fiziologia plantelor, înfăţişarea lor, modurile lor de viaţă şi adaptările lor. Nu mai este vorba atît de floră, cît de vegetaţie: aceasta este *ecologia* speciilor şi raselor (ecotipuri) sau a grupărilor de specii, şi mai ales *fitosociologia*. Într-o lucrare remarcabilă, fitogeograful canadian P. Dansereau (1957) face deosebirea între două alte nivele de integrare ale biogeografiei, şi anume bioclimatologia şi ecologia industrială. Acestea se referă în ambele cazuri la legăturile plantei cu climatele (adaptări ale speciilor şi raselor; plantele în calitate de indicatori ai climei etc.) şi cu omul (transformarea peisajului şi a condiţiilor naturale datorită activităţilor omeneşti).

CURENTELE DE LA ÎNCEPUTUL SECOLULUI. Sovieticii sînt cei care la începutul secolului au imprimat fitogeografiei cel mai viu şi profund impuls. Operele magistrale ale geografului şi pedologului V.V. Dokuceaev, ale lui S.I. Korginski, ale lui V.I. Vernadski (căruia îi datorăm noţiunile de biosferă şi de noosferă, 1945) stau la baza excepţionalei dezvoltări a acestei ştiinţe în U.R.S.S.

Pe de altă parte, începutul secolului este marcat de publicarea unor tratate clasice de către E. Warming (1895—96) şi A. E. W. Schimper (1898), care au jucat un rol important în orientarea acestei ştiinţe, precum şi de către H. Solms-Laubach (1905), P. Graebner (1910), O. Drude (1913). Nume celebre, ca A. Engler, L. Diels, H. Brockmann-Jerosch, E. Rübel etc., au făcut din biogeografie una dintre ştiinţele cele mai importante. În 1904, începe publicarea enciclopediei lui G. Karsten şi H. Schenk: *Vegetationsbilder* (26 vol., 1904—44).

Încă de la începutul secolului al XX-lea, orientarea ecologică este pusă în evidenţă de C. Schröter. Se dă o mare atenţie analizei mediilor complexe din care face parte vegetaţia: compoziţie, structură, istorie, evoluţie.

BRAUN-BLANQUET, F. CLEMENTS ŞI FITOSOCIOLOGIA. În 1915, memoriul lui J. Braun (Braun-Blanquet) asupra masivului din Aigoual a iniţiat un capitol deosebit de fecund; noţiunea de *asociaţie vegetală*, întrevăzută de Humboldt şi introdusă de Ch. Flahault (1900), îşi găseşte o aplicaţie concretă în această lucrare.

În America ia naştere ecologia dinamică datorită impulsului dat de H.C. Cowles (1899, 1901) şi mai ales de F. Clements (1916), urmat de J.E. Weaver (1919).

Pe un teritoriu dat, populaţiile vegetale se succed: există o evoluţie a ansamblului biologic spre o stare de echilibru denumită *climax*. O asociaţie reprezintă o comunitate sau o fitocenoză climaxică care intră în categoria grupărilor integrate, închise, în care are loc o competiţie, dar în care speciile străine nu pot intra. Fitocenoza însăşi este formată din mici comunităţi, denumite sinuzii (H. Gams, 1918), care se definesc prin uniformitatea aspectului. Pentru a defini comunităţile (în special Braun-Blanquet), precum şi pentru a le aprofunda cunoaşterea din punct de vedere dinamic (Clements) au fost introduse numeroase noţiuni cantitative (abundenţă, dominanţă, acoperire etc.) şi calitative (sociabilitate, vitalitate, periodicitate etc.). Pentru Clements, asociaţia reprezintă o „unitate naturală“, comparabilă cu specia taxonomică, iar climaxul este în strînsă legătură cu climatul.

Rigiditatea, tehnicitatea, precum şi formalismul şcolii din Zürich-Montpellier, ale lui Braun-Blanquet, precum şi ale şcolii americane a lui Clements au suscitat cele mai vii controverse (L.G. Ramenski, 1924; H.A. Gleason; L. Braun, 1950; R.H. Whittaker etc.). Lucrările lui Braun-Blanquet şi ale lui Clements, care au dominat ecologia mondială în ultima jumătate de secol, vor rămîne totuşi încercări foarte frumoase şi fecunde de interpretare a vegetaţiei.

Fitosociologia şi, în general, ecologia au cunoscut un mare succes în numeroase ţări în ultima jumătate de secol, dar lista botaniştilor care le-au consacrat o parte importantă a cercetărilor lor este prea mare pentru a putea fi citată. Orientarea ecologică a avut consecinţe economice importante, stimulînd mai ales efortul unor ştiinţe secundare, ca pedologia (C. Sørensen, 1909; H. Glinka, 1914), şi ajutînd în mare măsură ştiinţele agricole. Lavrenko a remarcat pe drept (1954) că biogeografia-pedologia a apărut ca răspuns la necesităţile de la sfîrşitul secolului al XIX-lea: reevaluarea terenurilor, lupta împotriva secetei. Actualmente, ea este una dintre ştiinţele de bază în valorificarea resurselor din ţările subdezvoltate.

CLASIFICĂRI REFERITOARE LA VEGETAŢIE. Încercările efectuate pentru clasificarea marilor tipuri de vegetaţie sau de adaptare, în afara oricăror considerente taxonomice, au fost extrem de numeroase, dar numai unele dintre ele au fost folosite pe larg de biogeografi.

C. Raunkiaer (1905—34) a prezentat un sistem simplu şi omogen de forme biologice[5] (de adaptare), a cărui utilizare s-a generalizat în toate studiile statistice ale vegetaţiei, atît în Europa şi America, cît şi în ţările tropicale. El se bazează pe recunoaşterea diferitelor mijloace de protecţie de care dispun plantele în anotimpurile nefavorabile. Studiul statistic al distribuţiei acestor tipuri de adaptare la mediu permite stabilirea spectrului biologic al formelor de vegetaţie. Botaniştii-călători au observat de mult timp că există o legătură între dimensiunile frunzelor şi climat. Raunkiaer a stabilit o clasificare convenţională după dimensiunile frunzelor, care reprezintă un nou instrument folosit în analiza vegetaţiei.

Huguet del Villar (1929) este autorul unei interesante clasificări de tip ecologic bazată pe habitat: două mari dicotomii, mediu înconjurător emergent şi acvatic şi 25 clase de plante după medii.

E. Rübel (1930) clasifică vegetaţia astfel: lemnoasă şi erbacee. Ţinînd seama de dimensiunea şi textura frunzelor, de aspectul lor, de habitat şi de precipitaţii, el deosebeşte diversele tipuri de păduri, vegetaţia erbacee, deşerturile etc.

Dansereau a propus (1951—57) o clasificare foarte suplă a tipurilor de vegetaţie, bazată pe analiza structurală şi absolut independentă de taxonomie. Ea permite exprimarea simbolică prin grafice şi se bazează pe şase tipuri de criterii: forme biologice; dimensiunea indivizilor; acoperirea (spaţiul ocupat de toţi indivizii din suprafaţa considerată, în proiecţie verticală); funcţia, forma şi dimensiunea frunzelor, textura foliară. Acestea sînt realizările unui curent de gîndire iniţiat de Humboldt (1806) şi care a fost de o extraordinară fecunditate.

NOŢIUNEA DE SINUZIE. Reluată de diverşi autori, printre care şi T. Lippmaa (1934), noţiunea de sinuzie[6] a fost folosită de Cain şi W.T. Penfound (1938) la studiul anumitor asociaţii forestiere.

---

[5] Forme biologice = forme de viaţă. Noţiunea de *formă de viaţă* a fost introdusă de E. Warming în 1901. Astăzi, prin „formă de viaţă" sau „formă biologică" se înţelege un anumit tip morfologic de plante, ale căror organe de regenerare şi de supravieţuire în perioadele nefavorabile ocupă aproximativ aceeaşi poziţie faţă de suprafaţa solului. Principalele categorii de forme de viaţă stabilite de C. Raunkiaer pentru regiunile temperate sînt următoarele:

1. Fanerofite *(Ph)*. = plante la care organele hibernante şi mugurii de regenerare sînt situaţi la o oarecare înălţime deasupra solului (arborii şi arbuştii).
2. Camefite *(Ch)*. = plante perene ale căror organe hibernante cu mugurii de regenerare se află deasupra solului, în imediata lui apropiere. De exemplu, *Thymus*, *Rubus* etc.
3. Hemicriptofite *(H)* = plante perene care-şi pierd anual partea aeriană, iar mugurii de regenerare se află la suprafaţa solului. De exemplu, *Taraxacum officinalis*.
4. Criptofite *(Cr)*. = plante perene care îşi pierd anual partea aeriană; la acestea organele hibernante şi mugurii de regenerare se găsesc sub suprafaţa solului. De exemplu, plantele cu bulbi şi plantele cu rizomi: *Scilla*, *Galanthus*, *Polygonatum*.
5. Terofite *(Th)*.=plante al căror ciclu de dezvoltare de la germinare pînă la producerea şi maturarea seminţelor se produce într-un sezon. De exemplu, plantele anuale. — *L.S.*

[6] Noţiunea de sinuzie a fost introdusă de E. Du Reitz şi definită mai precis de H. Gams (1918), care distinge trei tipuri de sinuzie:

1. Sinuzie de ordinul I = populaţia unei singure specii, dintr-o comunitate de plante;
2. Sinuzie de ordinul II = populaţiile mai multor specii, dintr-o comunitate de plante, aparţinînd la o singură bioformă;
3. Sinuzie de ordinul III = populaţiile mai multor specii aparţinînd la mai multe forme biologice. (continuarea notei la pag. 799).

Ultimii autori citaţi recunosc existenţa unor straturi sinuziale în pădurile cu glădiş roşu din America de Nord: un strat arborescent, două straturi frutescente, un strat ierbaceu etc. Straturile — a căror distingere se datoreşte lui R. Hult, 1881 — au fiecare fizionomie uniformă sau, în sistemul lui Raunkiaer, chiar formă biologică (formele biologice şi sinuziile se înlănţuiesc aici vertical). Noţiunea de sinuzie a fost intens folosită de P.W. Richards *(The tropical rain forest*, 1952*)*.

STUDIUL VEGETAŢIEI TROPICALE. S-au făcut încercări de a aplica la ţările tropicale noţiunile şi metodele stabilite de fitosociologie pentru ţările temperate. Aceasta reprezintă unul dintre aspectele cele mai originale ale biogeografiei moderne (S.A. Cain şi G.M. de Oliveira Castro, 1959).

Pentru analizarea vegetaţiei tropicale, cel mai adesea (J. Trochain, 1940; J. Lebrun, 1947; etc.) s-a apelat la sistemele lui Huguet del Villar şi Raunkiaer, numeroşi specialişti remarcabili în botanica tropicală (Cain, R. Schnell, G. Mangenot, P. Duvigneaud etc.) aparţinînd şcolii lui Braun-Blanquet.

Anterior, şi apoi paralel cu această mişcare de cercetare, s-a dezvoltat o fitogeografie tropicală mai puţin doctrinară, care se înscrie mai degrabă în tradiţia lui Engler şi Drude. Ea a acordat Franţei un rol important în acest domeniu, prin reprezentanţi ca H. Perrier de La Bâthie, A. Chevalier, H. Humbert, A. Aubreville şi Th. Monod, toţi fiind botanişti de teren şi ecologi.

RĂSPÎNDIREA PLANTELOR. Fitogeografii au studiat mijloacele prin care are loc răspîndirea sporilor, seminţelor, fructelor şi altor diaspori (aparate care nu au nimic comun decît funcţia lor de a asigura răspîndirea seminţelor în vederea reproducerii), iar unii dintre ei s-au consacrat cu predilecţie acestor studii. Cercetările clasice ale lui H.B. Guppy (1912) şi H.N. Ridley (1930) dovedesc efectuarea unui efort imens care nu a avut totuşi urmările pe care le-ar fi meritat.

În ultimii 20 de ani s-a revenit intens în acest domeniu de cercetare care reprezintă unul dintre capitolele esenţiale ale biosistematicii. Diversitatea morfologică a seminţelor şi a fructelor ar rămîne de neînţeles dacă nu ar fi considerată în perspectiva evoluţiei şi adaptării şi mai ales din punct de vedere darvinist.

Ecologii au încercat să deosebească o serie de categorii convenabile de tipuri de răspîndire şi să le clasifice. R. Molinier şi P. Müller (1938) şi apoi iar P. Müller (1955) au studiat în acest mod vegetaţia cu componente foarte contrastante din Franţa meridională. Dansereau şi K. Lems (1957) au efectuat aceleaşi cercetări pentru anumite formaţii din Canada. Noi legături importante au fost scoase astfel în evidenţă.

În accepţia modernă, sinuziile de ordinul I ale lui Gams se confundă cu populaţiile, iar cele de ordinul III, cu fitocenozele.

În prezent, prin sinuzie se înţelege unitatea structurală a comunităţilor de plante care reuneşte populaţiile speciilor aparţinînd la aceeaşi formă de viaţă sau la forme de viaţă apropiate.

Sinuzia are atît înţeles morfologic, de unitate structurală, cît şi înţeles ecologic, de unitate ce reuneşte specii cu adaptări asemănătoare la condiţiile de viaţă. — *L.S.*

CARTOGRAFIE BOTANICĂ. Originile acestei discipline se găsesc în magistrala operă a lui Ch. Flahault (1893). Flahault, care a meditat timp de 15 ani la proiectul de a elabora o hartă botanică, forestieră şi agricolă a Franţei la scara 1 / 1 000 000, va întîlni doar neînţelegere din partea cercurilor oficiale, deşi a insistat asupra importanţei acestui proiect pentru economia forestieră şi pentru agronomie. Sub influenţa sa directă, au fost elaborate, în diverse ţări, hărţi botanice: Scoţia (R. Smith, 1900), Elveţia (R.P. Hager, 1916), Germania, Austria. În 1911, A. Chevalier a prezentat o *Hartă botanică forestieră şi pastorală* a Africii Occidentale Franceze care rămîne singura hartă a vegetaţiei pentru această întreagă regiune.

După 1900, un autor rus, G. I. Tanfiliev, influenţat de ideile lui Dokuceaev, a elaborat o hartă la scară mică a vegetaţiei, în legătură cu tipurile genetice de soluri şi care acoperea întreaga Rusie. După G. N. Vîsotski (1909), care scoate în relief factorul ecologic, harta trebuie să exprime în mod sintetic legătura eco-geografică. Cartografia botanică a devenit în U.R.S.S., în legătură cu pedologia, ecologia, floristica, cunoaşterea resurselor vegetale şi exploatarea lor, una dintre ramurile cele mai fecunde ale activităţii botanice (N. I. Kuzneţov, E. M. Lavrenko, V. B. Sociava etc.).

Lui I. Emberger (harta fitogeografică a Marocului la scara 1/500 000, 1936—39) şi lui H. Gaussen li se datorește reînnoirea tradiţiei inaugurată în Franţa de Flahault. Sub conducerea acestor savanţi a fost iniţiată o operă imensă de sinteză, venită să încoroneze cercetările geografice, ecologice şi biologice (P. Rey, 1960).

Una dintre viitoarele mari activităţi în această direcţie ar trebui să fie harta fitogeografică a Lumii, la scara 1/1 000 000, dar pînă la ora actuală încă nu s-a realizat un acord asupra principiilor pentru întocmirea ei (luată deja în considerare de Gaussen şi Lavrenko).

VITALITATEA FITOGEOGRAFIEI. Numeroase alte publicaţii pe care nu le putem cita aici confirmă vitalitatea fitogeografiei, care nu s-a desminţit niciodată, de peste un secol şi jumătate. Atracţia pe care însă această ştiinţă a exercitat-o se datoreşte şi faptului că ea a suscitat apariţia unor teorii de mare răsunet la care s-au asociat remarcabili şefi de şcoală.

Teoria lui J. C. Willis (1917—26) asupra genezei ariilor de răspîndire a avut meritul, dacă nu de a rezolva — deoarece aria unei specii este departe de a fi totdeauna proporţională cu vechimea ei — cel puţin de a pune problema care se găseşte la originea multor cercetări. Teoria *nunatak*-urilor, elaborată de M. L. Fernald, referitoare la florele preglaciare din Arctica şi la refugiile lor, a stimulat de asemenea, în mare măsură, cercetările. Teoria lui Wegener asupra translaţiei continentale se găseşte la baza unui adevărat curent de gîndire. Supusă criticilor a numeroşi oponenţi (Diels, du Rietz etc.), apărată cu înflăcărare de biogeografi eminenţi (E. V. Wulff, R. Jeannel etc.), această teorie, care oferea o explicaţie atrăgătoare a modului în care florele s-au despărţit ori s-au apropiat, este astăzi părăsită[7].

---

[7] Vezi studiul lui R. Furon (pag. 507—509).

În ultimii 20 de ani fitogeografia a cunoscut o redeşteptare a interesului. Publicarea unor lucrări fundamentale de către Wulff (1943), Cain (1944) şi R. Good (1947) a fost urmată de cea a unor importante articole ale lui L. Croizat (1952—58), de cărţile metodologice ale lui Dansereau (1956), Cain şi Castro (1959) şi de lucrarea lui N. Polunin (1961) asupra Arcticii. Această înflorire a unor studii importante dovedeşte că fitogeografia este în curs de a deveni o ştiinţă matură.

C. CLASIFICAREA REGNULUI VEGETAL

Revoluţia darvinistă nu a pătruns în clasificarea vegetală decît spre sfîrşitul secolului al XIX-lea, prin Eichler şi Engler. Prin 1900, cercetările filogenetice au cunoscut un succes fără precedent care ulterior avea însă să se atenueze; paleobotanica şi-a început atunci deplina ei dezvoltare, împrumutînd datele fundamentale necesare construirii unor noi aranjamente sistematice. În curînd, marile diviziuni ale regnului vegetal, cele stabilite de Linné, Endlicher şi alţii, vor fi puse la îndoială în privinţa semnificaţiei lor profunde referitoare la evoluţie.

Astăzi nu se mai admite marea dicotomie a *Criptogamelor* şi a *Fanerogamelor*, propusă de Linné, cel puţin în măsura în care ea ar reprezenta altceva decît nivele orizontale de evoluţie, prevăzute cu diferite serii independente şi cu origini necunoscute.

De asemenea, noţiunea de *Cormofite* reprezintă astăzi un ansamblu mult mai eterogen. Teoria lui Hofmeister (1851) a impus ideea existenţei unui grup natural cu înlănţuiri progresive în care delimitarea plantelor cu arhegon să coincidă cu cea a cormofitelor; această concepţie părea a fi susţinută de descoperirea pteridospermelor sau a ferigilor cu seminţe, care stabilea o punte între fanerogame şi criptogamele vasculare. Aceste elanuri pripite a trebuit să fie întrerupte. Nu există, fără îndoială, nici o legătură de descendenţă între briofite şi plantele vasculare şi nici chiar între pteridofite, gimnosperme şi angiosperme, cel puţin dacă ne limităm la speciile vii. Pteridospermele apar deci ca un filum extrem de vechi (din devonian-jurasic), paralel cu cel al ferigilor, dar deosebit de el.

Noţiunile de *Alge* şi de *Ciuperci*, sau în general de *Talofite*, exprimă tot nivele de evoluţie, şi nicidecum filiaţii evolutive.

În toate domeniile taxonomice, cercetarea modernă, preocupată de înrudiri şi de origini, a realizat o descompunere a ansamblurilor şi unele rearanjări ample; dealtfel, ea a trebuit să renunţe, provizoriu, la ambiţia utopică de a exprima evoluţia lumii plantelor în alt mod decît prin linii paralele fragmentare.

Pentru a nu schimba radical modul obişnuit de expunere, vom prezenta această activitate, fragmentînd-o uneori în mod arbitrar: vom expune succesiv briofitele, pteridofitele şi spermatofitele, grupînd apoi celelalte categorii sub titlurile de algologie şi micologie.

1. Briofite

Dacă, aşa cum a remarcat P.W. Richards, grupul briofitelor, care nu prezintă interes economic prea mare şi este reprezentat numai într-o mică măsură în stare fosilă, a fost neglijat în prima treime a acestui secol, astăzi însă, el exercită o vie atracţie asupra biologilor care îi observă mai bine particularităţile morfologice, biologice şi fiziologice şi a căror convingere este aproape unanimă în privinţa eşecului evolutiv pe care briofitele par a-l ilustra.

Cele două mari diviziuni, muşchii (ale căror baze taxonomice au fost stabilite de M. Fleischer şi V. F. Brotherus, 1920—25) şi hepaticele, au fost împărţite în cinci ordine de Dixon şi F. Verdoorn *(Manual of Briology*, 1932): Sphagnales, Andraeales, Bryales, dintre muşchi, şi Hepaticales şi Anthocerotales, dintre hepatice.

Direcţia modernă a ideilor pare să fi modificat considerabil această concepţie. Anumiţi autori au ridicat *Anthoceros* sau *Sphagnum* la rangul de clasă, dar ei nu au fost acceptaţi decît într-o mică măsură. De atunci au intervenit fapte noi: perfecţionarea şi extinderea cercetărilor, reînnoirea tehnicilor (lucrările citologice ale lui W. C. Steere, 1958; S. Tatuno), reconsiderarea caracterelor şi descoperirea de plante noi. Fără îndoială că sistematicienii au dat o importanţă taxonomică exagerată tipului de alternare a generaţiilor, considerîndu-le drept criteriu al unităţii de grup, care, dealtfel, este eterogen. Legătura dintre muşchi şi hepatice (H. N. Andrews, 1961) nu este mai strînsă decît cea dintre diferitele filumuri ale criptogamelor vasculare. Într-o primă etapă au fost recunoscute două filumuri: hepatofite şi briofite (H. C. Bold, 1957; Andrews). Se apropie a doua etapă care ar putea consta în recunoaşterea a cinci filumuri (W. C. Steere, 1960).

Actualmente se cunosc circa 25 000 de specii de muşchi, circa 350 ale genului *Sphagnum* şi 10 000 hepatice. Inventarierea continuă însă, fiind marcată uneori de noi descoperiri, ca cea a genului *Cryptothallus* (1933), o hepatică exclusiv saprofită, şi a celor doi taxoni de *Marchantia*, din Noua Zeelandă şi Australia (1954—56), dintre care unul reprezintă, el singur, o nouă familie.

2. Pteridofite

Anii 1900—1902 constituie o adevărată cotitură prin publicarea monografiei pteridofitelor în *Pflanzenfamilien* şi a lucrărilor lui E.C. Jeffrey asupra morfologiei şi anatomiei plantelor vasculare. Imensul efort de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, datorat unor anatomişti-morfologi, precum şi paleontologilor, s-a materializat în sinteza lui Engler şi Prantl, care au scos în evidenţă complexitatea taxonomică proprie unui grup de plante în care fosilele se găsesc într-un număr excepţional de ridicat. Simultan cu aceştia, marele anatomist american Jeffrey a introdus o dicotomie fundamentală, bazată pe arhitectura ramurilor: tipuri cu frunze mici sau *Lycopsida* (Lycopodium, Selaginella, *Equisetum*) şi tipuri cu frunze mari, sau *Pteropsida*.

Pe baza structurii ţesutului sporogen, Goebel a încercat să împartă plantele vasculare în lepto- şi eusporangiate. Jeffrey include în *Pteropsida*, alături de ferigi, gimnospermele şi angiospermele, adică toate plantele pe care le consideră că ar descinde din pteropside. Această clasificare a fost dezvoltată de J. P. Lotsy (1909). Cercetările lui Jeffrey, care postulau existenţa a două mari linii de descendenţă a plantelor vasculare cu origini foarte vechi, au deschis o cale de o excepţională importanţă, care a dus la separarea grupului de cormofite stabilit de Endlicher şi mai ales la fracţionarea vechiului grup al pteridofitelor. În continuare, pteropsidele au fost limitate cel mai adesea la filicale sau ferigi.

În 1904, O. Lignier a arătat că *Sphenophyllalele* fosile şi *Equisetalele* (barba ursului) formează un grup natural pe care l-a numit „Articulate" *(Sphenopsida)*. În acest fel din *Lycopsida* se desprinde un grup cu o valoare taxonomică egală. Aproape în acelaşi timp au fost recunoscuţi şi alţi doi taxoni, de rang egal: *Psilotale* (M. G. Sykes, 1908; Lotsy) şi *Psilofitale* (R. Kidston şi W. H. Lang, 1913), sau *Psilotopsida* şi *Psilofitopsida* (fosile) din terminologia noastră. Aceste cinci filumuri sînt în general admise astăzi, iar numărul total al speciilor care le compun este evaluat la 7 000 (C. Christensen, *Index Filicum* şi Suplimentele, 1905—33), în timp ce Linné evalua acest număr la 200.

Lucrările lui Bower (1923—28, 1935) şi ale lui O. Lignier (1900—12) au influenţat în mare măsură cercetările sistematice, iar tratatele de paleobotanică ale lui D. H. Scott (ed. a 3-a, 1920—23) şi ale lui M. Firmer (1927) au avut o influenţă considerabilă asupra evoluţiei pteridologiei. Cercetările lui I. Manton asupra citologiei pteridofitelor, lucrările de paleobotanică ale lui Krichtofovici şi ale lui G. Erdtman asupra sporilor dovedesc perspectivele de progres. În ceea ce priveşte taxonomia familiilor şi a genurilor, subliniem faptul că situaţia este încă fluctuantă.

3. Spermatofite sau plante cu seminţe

În America, schema lui O. Tippo (1942), concepută după lucrările lui Jeffrey, A.J. Eames (1936) şi G.M. Smith (1938), s-a bucurat de o mare favoare. În cadrul ei, regnul vegetal este împărţit în: talofite (toate filumurile de alge şi ciupercile) şi embriofite (briofite şi traheofite). Această concepţie, care adoptă *Pteropsida* lui Jeffrey, eliminînd astfel frontiera cu spermatofitele, a întîlnit opoziţia a numeroşi botanişti europeni, ca R.E.G. Pichi-Sermolli (1959), care consideră că vechea clasificare în briofite, pteridofite şi spermatofite rămîne preferabilă.

Noţiunea de spermatofite a fost introdusă pentru a o înlocui pe cea de fanerogame, în momentul în care s-a stabilit că în carbonifer au existat unele plante (şi care, de fapt, trec din devonian în jurasic), pteridospermele, care legau fanerogamele de criptogamele vasculare. În continuare, s-a observat o mai mică unanimitate asupra interpretării seminţei pteridospermelor (H. N. Andrews, 1948; D. A. Johansen; H. J. Lam).

GIMNOSPERME. Ţinînd seama de fosile, Engler (1897) recunoştea şase ordine: Cicadales, Bennettitales, Ginkgoales, Cordaitales, Coniferales şi Gnetales. Aceasta reprezenta un pas înainte faţă de Eichler (1889), care nu recunoştea decît patru familii: Cicadee, Cordaitacee, Coniferee şi Gnetacee. În 1899, Lotsy a propus ridicarea grupului gnetalelor la un rang egal cu cel al gimnospermelor: era recunoaşterea unei prime eterogenităţi esenţiale, adică existenţa a cel puţin două filumuri deosebite.

C.J. Chamberlain (1935) considera că ar exista două mari filumuri: cel al cicadofitelor (cuprinzînd pteridospermele sau cicadofilicalele), cu frunze penate de tipul ferigilor, şi cel al coniferofitelor (cuprinzînd în special gnetalele şi ginkgoalele).

Această schemă fusese elaborată de paleobotanistul E. W. Berry (1918), care adăuga şi filumul *Pteridospermofitelor*. Mai există şi cele trei ramuri considerate de Lam (1960), dar acest autor exclude pteridospermele dintre spermatofite. Sistemul lui Johansen (1951), care derivă din cel al lui C. A. Arnold (1948), cuprinde cinci filumuri: Pteridospermophyta, Cicadophyta, Ginkgophyta, Coniferophyta, Efedrophyta.

În felul acesta se precizează treptat o anumită evoluţie spre o dispersare a vechilor gimnosperme. Emberger (1942, 1960) a propus reunirea în afara spermatofitelor, şi sub denumirea de prefanerogame, a unui ansamblu de grupuri detaşate din gimnosperme: Pteridosperme (Pteridospermales, Caytoniales, Cycadales) şi Cordaite (Cordaitales, Ginkgoales). Această clasificare, care se bazează pe faptul că în grupele respective oul nu se dezvoltă într-o sămînţă, a fost foarte viu criticată (P. Martens, 1951).

Dar tendinţa de separare a luat amploare: în 1920, B. Sahni, continuînd pe J. M. Coulter şi pe Chamberlain, a scos în evidenţă eterogenitatea coniferalelor, al căror ordin a fost împărţit în cinci grupe. Acest aranjament, acceptat de Emberger, nu a fost admis de şcoala lui Gaussen.

Cercetările embriologice ale lui J. T. Buchholz (1929), precum şi două lucrări importante — a lui Coulter şi Chamberlain (1917) şi a lui Chamberlain (1935) — au pus accentul pe studiul organelor sexuale şi pe interpretarea lor filogenetică.

După 1930, suedezul R. Florin a adus o contribuţie importantă la elucidarea celor mai controversate probleme ale structurii gimnospermelor actuale şi fosile: tipuri de stomate, interpretarea conurilor femele ale coniferelor, cercetări asupra cordaitalelor, pe care le-a demonstrat a fi caracteristice paleozoicului şi a constituit tulpina coniferofitelor.

ANGIOSPERME. Taxonomistul american G.H.M. Lawrence (1951) consideră că în zilele noastre cinci sisteme sînt folosite în cea mai mare măsură (Bentham şi Hooker, Engler, Bessey, Hutchinson, Tippo), celelalte derivînd din ele într-o măsură mai mare sau mai mică. După Engler, toate aceste sisteme sînt filogenetice, cel puţin în concepţie; el încearcă să repartizeze plantele în grupe naturale pe baza evoluţiei. În realitate, o schemă grosieră ar reduce la numai două numărul curentelor de gîndire, unul provenind de la Eichler-Engler, iar celălalt, de la Bentham şi Tippo. Ultimul curent nu include analiza taxonomică a angiospermelor, ci doar ansamblul regnului vegetal, cu excepţia talofitelor; originea plantelor vasculare şi mai ales a angiospermelor (element al *Pteropsidei*) ar fi Psilophyta (devonian); această idee, care are la bază teoria lui Lignier (1904—12), a început să fie respinsă de mulţi cercetători (Martens, 1950; S. Leclercq; M. Chadefaud).

Sistemul lui Engler (vezi vol. III, pag. 445), care este susţinut de A. B. Rendle (1904, 1925), R. von Wettstein, A. Pulle, C. Skottsberg (1949), păstrează o importanţă practică primordială, deoarece el rămîne la baza structurii marilor ierbare şi a majorităţii florelor.

Multe dintre principiile sale au fost totuşi respinse. Ideea gimnospermelor străvechi, cea a arhaismului plantelor cu amenţi (amentifere), cea a caracterului primitiv al polenizării cu ajutorul vîntului, sînt tot atîtea ipoteze care par din ce în ce mai gratuite (C. Robertson, 1904; E. A. N. Arber şi J. Parkin; I. W. Bailey, 1952).

Sistemul americanului C. E. Bessey (1894, 1915), care se opune celui precedent, a marcat în mare măsură orientarea gîndirii taxonomice. În acest sistem, este considerată primitivă tocmai floarea entomofilă, bisexuată şi care prezintă un periant. Bessey este un adept al teoriei strobilului (F. O. Brower), după care planta vasculară originară ar reprezenta un întreg strobil, axul principal fiind prevăzut cu o succesiune de frunze dispuse în spirală, dintre care unele au organe de reproducere. Grupurile Ranale şi Magnoliale reprezintă, în acest caz, complexul ancestral din care au derivat principalele două filumuri[8]: monocotiledonate şi dicotiledonate. Teoria lui H. Hallier (1905), înrudită cu cea precedentă, consideră că la bază se găsesc magnolialele şi berberidaceele: de aici decurg multe legături noi.

De aceeaşi părere cu Bessey este şi englezul J. Hutchinson care, în *Families of flowering plants* (1926, 1934), a expus — fără a le justifica — principiile unei clasificări îndrăzneţe, repartizînd familiile în două filumuri, unul lemnos şi altul ierbaceu, derivaţi din aceeaşi tulpină ipotetică de proangiosperme. Aceasta reprezenta reîntoarcerea la vechea dicotomie prelinneană, iar măiestria lui Hutchinson avea ceva de paradă. Dar în spatele acestei „parade de şoc“ exista o operă valoroasă de care botaniştii şi-au dat seama.

De atunci au apărut alte noi clasificări şi mai ales cele ale lui A. L. Tahtajian (1954) şi L. Emberger (1960), una mono-, iar cealaltă polifiletică; amîndouă admit, ca şi cea a lui Tippo, originea plantelor vasculare pornind de la Psilophytales. Sistemul lui Emberger are meritul unor veleităţi limitate.

„Sînt prea numeroase lucrările, scrie cu multă dreptate acest autor, care prezintă sistematica ca şi cum ea ar exista şi nu ne-ar mai rămîne nimic de descoperit; într-atît sînt de perfecte construcţiile filogenetice! Realitatea este însă alta şi trebuie subliniată: noi nu cunoaştem decît ramurile importante ale arborelui genealogic şi cîteva elemente ale ramificărilor sale; rădăcinile, raporturile dintre poziţiile ramurilor de ordin superior ne sînt însă necunoscute pentru majoritatea grupurilor sistematice“.

Mulţimea de clasificări propusă de diverşi autori ar putea crea impresia că ne găsim într-un domeniu extrem de subiectiv, în care ştiinţa nu are un cuvînt de spus. În realitate, oricît de nesatisfăcătoare şi amăgitoare ar fi, taxonomia nu a încetat să se dezvolte în funcţie de progresele realizate în alte domenii (paleobotanică, citologie, embriologie, histologie, genetică, biochimie etc.) iar secolul al XX-lea a fost martorul unora dintre aceste realizări mai importante.

În 1934—41, A. C. Smith descoperă în insulele Fidji un gen de angiospermă arhaică pe care a numit-o *Degeneria* (familia Degeneriaceae, ordinul Ranales). Această descoperire a reprezentat punctul de plecare al unor cercetări foarte amănunţite asupra structurii florale a ranalelor, efectuate de şcoala de la Harvard, sub conducerea lui I. W. Bailey (1942—51). Ele au dus la descoperirea celei mai frumoase serii evolutive cunoscute, şi anume a unui organ, carpela. Numeroase cercetări paralele au pus în evidenţă existenţa unor serii evolutive referitoare la stamine (J. E. Canright, 1952). Aceste diverse cercetări reprezintă un moment important în morfologia florală. Dealtfel, datele noi asupra gametofiţilor, a polenului, a secreţiilor şi a proteinelor citoplasmice arată că există încă multe domenii de explorat. De asemenea, numeroase speranţe se îndreaptă spre studiul noilor zăcăminte de plante fosile şi spre explorarea florelor insuficient cunoscute; astfel au fost descrise, în ultimii doi ani, 25 de noi specii sălbatice de arbori de cafea (J. F. Leroy).

---

[8] În accepţia unanimă, monocotiledonatele şi dicotiledonatele sînt două *clase*, şi nu filumuri. — *V.I.*

Vitalitatea taxonomiei spermatofitelor şi, mai ales, cea a angiospermelor s-a materializat prin publicarea unei serii de lucrări remarcabile (A. Gundersen, 1950; G. H. M. Lawrence, 1951; E. L. Core, 1955; E. W. Sinnott, 1955; L. Benson, 1957; Porter, 1960; Emberger, 1960).

4. Algologie

Importantele lucrări realizate, între 1840 şi 1880, de Agardh, Kützing, G. Thuret şi E. Bornet (1878) etc. au pus bazele algologiei moderne, ale cărei progrese aveau să devină deosebit de remarcabile. Încă din ultimul sfert al secolului al XIX-lea, condiţiile tehnice şi metodologice i-au permis algologiei, ştiinţă bazată mai ales pe caractere citologice sau biochimice şi pe tipurile de reproducere şi ciclurile de dezvoltare, să-şi ia avînt. La această dezvoltare s-au asociat într-un mod determinant numele lui C.J. Schmitz, G. Berthold, G. Klebs. Marile curente ale cercetării alternanţei generaţiilor au fost iniţiate prin lucrările lui J. Reinke, P. Falkenberg, J.L. Williams. După 1904, F. Oltmanns îşi publică lucrarea *Morphologie und Biologie der Algen*, în timp ce între 1889 şi 1924 apare la Padova enorma, dar foarte utila enciclopedie *Sylloge algarum*, a lui J.B. de Toni.

În următoarea jumătate de secol se vor realiza progrese capitale în toate domeniile fiziologiei (nutriţie, respiraţie, fotosinteză, permeabilitate celulară, fenomene electrice) şi ale biologiei (reproducere, clasificare, creştere, evoluţie, adaptare). În privinţa sistematicii şi evoluţiei, a avut loc o profundă reînnoire a ideilor: concepţiile actuale care decurg din operele lui Scherffel, Bohlin, Luther, Blackman, de la începutul secolului, se clarifică odată cu Pascher şi apoi se concretizează în sistemul lui Fritsch (1935) şi al lui G.M. Smith (1938): de atunci, vechiul filum al talofitelor (Endlicher, 1840) s-a descompus. Se consideră acum că marile grupuri ale talofitelor sînt filumuri naturale, uneori absolut izolate şi chiar fără descendenţă. Criticate de M. Chadefaud (1960), aceste idei au fost primite în America foarte favorabil (Papenfuss, 1946). Împărţirea lui Endlicher şi-a păstrat toată importanţa ca graniţă a arhegoniatelor (cadru care coincide cu cel al cormofitelor).

Dealtfel, în trecut se considera că unele plante autotrofe, ca algele, au fost primele fiinţe vii de pe Pămînt şi că grupul ciupercilor, conceput ca o subîncrengătură, ar deriva din alge prin pierderea clorofilei. În 1912, sistemul lui Engler exprima încă această idee asupra unităţii talofitelor. Consideraţiile asupra descendenţei ciupercilor sînt astăzi mult mai nuanţate: acestea se distribuie şi ele în mai multe filumuri care pot fi foarte izolate. Unii micologi consideră chiar că ciupercile ar reprezenta un regn deosebit de cele două regnuri vii; alții stabilesc legături cu algele roșii și cu algele brune; toate acestea reprezintă ipoteze puțin sigure. Din punct de vedere filogenetic, cercetările asupra pigmenților au permis să se demonstreze asemănări între algele verzi și plantele superioare (H. H. Strain, 1944) și să se întărească astfel ipoteza originii cloroficeene a acestora din urmă.

Evoluția cunoștințelor noastre sistematice va fi expusă mai jos la nivelul marilor filumuri, pe care le vom reduce la patru, după metoda lui M. Chadefaud.

ALGELE ALBASTRE SAU SCHIZOPHYCOPHYTA. Acestea formează un ansamblu de circa 2 000 de specii, cu totul izolat. În structura lor nu există celule flagelate, nici nucleu celular organizat, cu un tip deosebit de pigment, nici diferențiere de celule speciale, sau reproducere sexuată; progresele tehnicilor de culturi pure au permis cultivarea unor specii cocoide și filamentoase pe medii minerale; anumite specii asimilează direct azotul din atmosferă (S.R. Hoover, 1936; F.E. Allison, H.J. Morris).

Autonomia acestui grup a fost recunoscută de Agardh în 1824, iar după 1854, F. Cohn a stabilit o anumită legătură între algele albastre și bacterii. În 1880, el a creat termenul de schizoficee, pentru a denumi schizoficeele împreună cu schizomicetele (bacterii) care formează diviziunea schizofitelor lui Engler. Mai tîrziu, această concepție unitară, care pare totuși destul de valabilă, a fost părăsită. Una dintre principalele contribuții la cunoașterea taxonomică a acestor plante a fost adusă de lucrările lui P. Frémy și L. Geitler (1925—42), din care decurg și cele ale lui A. A. Elenkin și Fritsch. Ca și acesta, bazîndu-se pe caracterele referitoare la tal, la spori și la heterociști, Chadefaud deosebește cinci ordine. Elenkin distinge 12, în timp ce alți autori, numai trei.

ALGELE VERZI SAU CLOROPHYTA. În această imensă încrengătură (6 000—8 000 specii), cu reprezentanți mai ales în apele dulci, diversitatea morfologică și ecologică este extremă. Unele specii sînt unicelulare, mobile *(Chlamydomonas)* sau nu *(Desmidiaceae)*, altele sînt coloniale *(Volvox)* sau filamentoase *(Oedogonium)*, cenocitice *(Codium)* sau lamelare *(Ulva)*.

La sfîrșitul secolului al XIX-lea, ca urmare a lucrărilor lui Stizenberger și Rabenhorst, erau recunoscute în general patru ordine de alge verzi: Protococoidee (inclusiv euglenele), Conjugate, Sifonee și Confervoidee. În 1895, italianul A. Borzi a reunit mai multe genuri dispersate pînă atunci în diverse familii de alge verzi, creînd astfel ordinul Confervales, caracterizat prin tipurile de pigment și de flageli și prin substanțele de rezervă (care nu sînt constituite din amidon). În 1899, A. Luther a arătat că la aceste genuri, zoosporii prezintă doi flageli inegali, oricare ar fi gradul evoluției talului, și a propus să se scoată din cadrul algelor verzi toate aceste plante, pentru care a creat clasa Heterokonte (xantoficeele lui Allorge, 1930), viitorul element al crisoficofitelor. În 1900, F. F. Blackman a sprijinit această concepție prin teoria sa asupra tendințelor vegetative și a încercat să pună în evidență paralelismul ce se observă în evoluția unor taluri la algele verzi și la heterokonte. Dealtfel, el a demonstrat asemănarea tipului de pigment de la acestea și *Vaucheria*, considerată a fi algă verde. În 1901, Bohlin a încercat să precizeze diversele serii evolutive, pornind de la tulpinile flagelate; în mod îndrăzneţ, el a creat ordinul Vaucheriales în interiorul heterokontelor, ceea ce se va admite abia peste o jumătate de secol. În cele din urmă, Blackman şi A. G. Tansley (1902), apoi G. S. West (1916) au admis un sistem de cloroficee, axat pe patru grupe, dintre care una este reprezentată de heterokonte; în acest caz, *Vaucheria* redevine cloroficee[9].

Cercetările lui Klebs (1883—92) au impus considerarea euglenelor drept un ordin al flagelatelor; Pascher (1931) le acordă rangul de filum aparte. Trebuie subliniat faptul că acest grup de alge prezintă afinităţi cu pirofitele, cu care Chadefaud (1960) l-a reunit.

Primii algologi clasificau împreună desmidiaceele şi diatomeele. Mai tîrziu, după descoperirea afinităţilor dintre primul grup şi spirogire, a fost necesară separarea lor (Kützing, 1833). Chadefaud a format o încrengătură din aceste alge care se reproduc sexuat prin conjugare şi cărora li se atribuie, în general, nivelul unui ordin sau al unui subordin. În ceea ce priveşte diatomeele, după ce s-au unit cu feoficeele, şi-au găsit — prin lucrările lui Pascher (1914) — locul actual în cadrul crisoficeelor. Caraceele ridică o problemă nerezolvată. Algologii moderni au tendinţa de a le încorpora în grupul algelor verzi, în timp ce Fritsch le consideră chiar unul dintre cele nouă ordine ale încrengăturii. Structura stranie a acestor plante acvatice însă îi determină pe unii cercetători, începînd cu W. Migula (1890), să considere characeele şi familiile fosile înrudite un filum unitar.

ALGELE BRUNE SAU CROMOPHICOPHYTA. În general, se crede că numărul imens al acestor alge (16 000 de specii descrise, aproape toate marine) se repartizează în mai multe grupuri naturale: feoficofite, crisoficofite, piroficofite. Între ele există totuşi unele afinităţi: prezintă, în general, celule mobile şi tipuri de flageli (G.Deflandre, 1934; I. Manton şi B. Clarke), de pigmenţi şi de rezerve (fără amidon veritabil). În continuare, vor fi prezentate în calitate de subîncrengături.

Clasificarea feoficeelor sau a algelor brune, *sensu stricto*, a fost profund influenţată de lucrările lui H. Kylin (1917—33). Mai înainte aceasta avea la bază criterii referitoare la structura şi la modul lor de reproducere. Odată cu Kylin sînt recunoscute noi ordine, iar noţiunea de alternanţă a generaţiei devine criteriul marilor unităţi taxonomice. Acest sistem a fost primit foarte favorabil şi este de actualitate. Se cunosc acum 11—12 ordine de feoficee.

Cunoştinţele noastre sistematice asupra crizoficeelor se datorează în mare măsură lui F. von Stein (1872). E. Lemmermann, G. Senn şi mai ales, lui Klebs (1892), care le definesc principalele caractere. Totuşi, cel care a stabilit clasificarea modernă a grupului este marele protistolog A. Pascher. După 1914, el a pus în evidenţă o serie de caractere comune sau înrudite între xantoficee, crisoficee şi bacilarioficee (diatomee). Mai tîrziu, a consolidat şi a dezvoltat concepţia sa care astăzi este general admisă. Pe de altă parte, Pascher a reluat şi a dezvoltat ideile lui Blackman (1900—1901) şi A. Scherffel asupra seriilor evolutive paralele provenite din strămoşi flagelaţi. El s-a remarcat ca apărător al unor idei remarcabile, cum ar fi originea crizoficeană a regnului animal, prin pierderea plastelor şi a flagelilor. De mult timp a fost acceptată împărţirea diatomeelor în două mari categorii naturale (Centrales și Pennales), bazată pe simetria lor (G. Grunow, 1860; O. Kirchner; F. Schütt, 1896). Pascher a fost cel care a descoperit înrudirea grupului.

---

[9] În sistemele mai recente (Engler, 1954), heterokontele sînt încadrate în filumul Chrysophyta. — *V.I.*

Recentele modificări ale clasificării crizoficeelor de către Pascher (P. Bourrelly, 1957) și descoperirile referitoare la sexualitate (Stosch, 1951—54) dovedesc că crizoficofitele sînt încă insuficient cunoscute.

Piroficeele sau dinoficeele sînt alge unicelulare de culoare brună-aurie sau verzuie, caracterizate cel mai adesea prin flageli ventrali dispuși într-un mod special și printr-o structură deosebită a nucleului; reproducerea sexuată nu este cunoscută decît la două specii. Klebs (1883—92) a pus în evidență caracterele lor esențiale și apoi a demonstrat existența unor forme imobile (1912). Pascher a evidențiat existența unor afinități între mai multe grupuri și a pus bazele grupului pirofitelor (1914). Un mare număr de cercetări biologice și sistematice (C.A. Kofoid etc.) dovedesc interesul acordat acestor organisme, deși anumite grupuri rămîn încă foarte enigmatice.

ALGELE ROȘII SAU RHODOPHICOPHYTA. La aceste alge, clorofila este mascată de un pigment proteinic solubil în apă, ficoeritrina, iar uneori de ficocianină. Algele roșii sînt organisme taloide, uneori unicelulare, foarte răspîndite în mările calde. Formele lor superioare, foarte complexe, se diferențiază prin modul de reproducere: ele nu prezintă celule flagelate, gametangele feminin avînd o organizare complicată, iar ciclurile evolutive fiind adesea de un tip nou.

Clasificarea sistematică a algelor roșii (circa 3000 de specii) se baza în secolul al XIX-lea pe lucrările lui Agardh (1842). Odată cu lucrările lui C.J.F. Schmitz (1883) și cu importanța arătată embriologiei (în special descoperirea celulei auxiliare), începe perioada modernă, marcată de opera lui H. Kylin (1937, 1956). În prezent, clasificarea se bazează pe caracterele deduse din structura și dezvoltarea carposporofitului și din tipul ciclului de dezvoltare. În 1892, Schmitz recunoștea existența a patru ordine. Alte trei au apărut ulterior. G. Berthold (1881) a arătat că algele din genul *Bangia* aparțin grupului de alge roșii; Oltmanns le-a acordat o poziție de filum, în timp ce astăzi sînt considerate drept una dintre cele două mari ramuri ale filumului algelor roșii.

5. Micologie

Micologia este o știință tînără, în plină dezvoltare, care s-a și ramificat în noi ramuri, devenite rapid autonome: fitopatologia, micologia medicală, bacteriologia (parțial), în care A.Fleming a deschis extraordinarul capitol al antibioticelor. Dar cîte alte noi direcții de cercetare, extrem de interesante, nu au apărut în ultimele zeci de ani: ficomicete acvatice (F.K.Sparrow, 1943), etnomicologie (R.E.Schultes, 1940; R.G.Wasson), ciuperci halucinogene și psilocibina (R.Heim, 1959), ciuperci microscopice din sol și modul lor de nutriție (Ch.Dreschler, 1933—51), mecanisme de eliberare a sporilor (A.H.R. Buller, 1909—50; C.I.Ingold), micorize şi simbioze[10] (E.Melin, 1917—48, R.Heim etc.), genetică (B.O. Dodge, C.C. Lindegren).

Din punct de vedere sistematic este greu de evidenţiat o părere generală, deoarece autorii contemporani nu sînt de acord nici între ei, după cum nu sînt de acord nici cu cei din trecut. Încă nu sînt stabilite ferm marile ramuri filetice, iar recent au avut loc rearanjări sistematice de mare anvergură. O sistematică suficient de corectă şi de stabilă nu poate fi elaborată de o ştiinţă tînără; mai ales în acest caz ea este deosebit de dificilă, deoarece se bazează pe cunoaşterea funcţiilor şi a microstructurilor. Tratatele lui E.A. Gäumann (1926, 1949)[11], E.A. Bessey (1935, 1950) şi Chadefaud (1960) scot în evidenţă această complexitate.

Manualele consideră în general existenţa a cinci mari categorii de ciuperci: Mixomicete, Ficomicete, Ascomicete, Bazidiomicete, „Ciuperci imperfecte".

Cazul mixomicetelor (aceste organisme ciudate, al căror aparat vegetativ este o masă protoplasmică, denumită plasmodiu) pune în evidenţă divergenţele dintre specialişti. Astfel, după A. de Bary (1858), care le plasa în afara regnului vegetal, acest grup a fost lăsat zoologilor sau li s-a rezervat un loc cu totul aparte în cadrul talofitelor. Numeroşi autori, ca Schroeter (1897), Gwynne-Vaughan şi Barnes (1927), E.A. Bessey (1950) etc. se alătură lui de Bary. G.M. Smith reintegrează mixomicetele în cadrul ciupercilor, ca un filum echivalent eumicetelor (ficomicete, ascomicete, bazidiomicete). Chadefaud (1960) le include printre ficomicete, considerîndu-le — conform părerii lui F. Moreau — drept un filum al ficomicofitelor sau ciupercilor cu zoospori, grup care ar putea proveni din algele brune sau cromoficofite. Toate ciupercile fără zoospori (ascomicete, bazidiomicete, zigomicete) formează al doilea filum, cel al micomicofitelor. A.L. Cohen a reuşit realizarea de culturi pure ale anumitor specii de mixomicete. De atunci, cunoştinţele noastre asupra acestor organisme au progresat, acest grup atrăgînd tot mai mult atenţia biologilor; G.W. Martin a arătat (1960) că el este mai apropiat ciupercilor decît protozoarelor.

Limita stabilită între ficomicofite şi micomicofite comportă şi o transformare profundă în poziţia sistematică a zigomicetelor, care erau clasificate, în general, printre ficomicete. Evoluţia cercetărilor în acest domeniu (Sparrow, 1943) lasă să se întrevadă revoluţionări taxonomice profunde, în timp ce Gäumann (1949) consideră că originea ciupercilor superioare ar fi zigomicetele. După Chadefaud, zigomicetele sînt ciuperci superioare.

Un mare număr de cercetări au fost consacrate ciupercilor superioare în sensul clasic (ascomicete şi bazidiomicete): flore (*Sylloge Fungorum*, 25 vol., 1882—1931, a lui P.A. Saccardo; *Kryptogamen Flora*, a lui L. Rabenhorst, 1884—1938; *Die Natürlichen Pflanzenfamilien; Kryptogamen der Mark Brandenburg*, a lui G. Lindau, P. Hennings etc.), monografii, studii morfologice şi biologice. Ele au permis realizarea unor progrese importante în cunoașterea filumurilor, dar nu și în deducerea legăturilor acestora și în evidențierea elementelor esențiale ale unui sistem de ansamblu.

---

[10] Termenul de simbioză a fost introdus de de Bary (1879) pentru a defini „viaţa în comun a unor organisme diferite" (cf. Tr. Săvulescu şi Olga Săvulescu, *Tratat de patologie vegetală*, 1959). Prin micoriză se înţelege asociaţia dintre diferite ciuperci şi rădăcinile unor plante superioare lemnoase sau ierboase. Termenul de micoriză a fost introdus de Frank (1885). — *Nota red. rom.*

[11] În 1964, E. Gäumann *(Die Pilze)* a elaborat un nou sistem de clasificare a ciupercilor, diferit în mare măsură de cel din 1949. — *Nota red. rom.*

În privința originii ciupercilor superioare există în zilele noastre două mari școli. Una consideră un ansamblu monofiletic provenind din ficomicete (care ar deriva din alge sau din flagelate; de Bary; Dangeard; Gäumann, 1926). Cea de-a doua școală presupune, datorită ideilor lui J. Sachs (1874), că originea ciupercilor superioare ar fi polifiletică și că ele ar porni de la algele roșii (B.O. Dodge, 1914; H.S. Jackson; Bessey; Chadefaud etc.)[12].

„Ciupercile imperfecte“ sînt organisme a căror sexualitate nu este cunoscută și a căror clasificare, în consecință, nu poate fi decît foarte artificială; subliniem faptul că ele reprezintă peste 1300 de genuri (H.B. Bender, 1931), dintre care multe au o mare importanță practică.

BAZIDIOMICETE. Această clasă este cunoscută prin unele specii comestibile: himenomicete (ciuperci cu pălărie). Ideile moderne asupra acestui subiect pornesc de la lucrările elvețianului V.Fayod, creatorul embriologiei ciupercilor superioare, și ale francezului N.Patouillard, principalul fondator al clasificării moderne.

Cercetările lui O. Brefeld (după 1881) și Van Tieghem (1893) și studiile citologice ale lui P. Sappin-Trouffy (1896) și R.A. Harper (1898, 1902) au stabilit legăturile (întrevăzute de Tulasne) dintre uredinale și ustilaginale (bazidiomicete). O. Juel (1896, 1916) și R. Maire au descoperit un criteriu citologic care a fost foarte mult folosit: orientarea fusului nuclear în cursul meiozei în bazidie. Sistemul lui Fries se bazează mai ales pe configurația *himenoforului:* lamelar (agaricacee), tubular (poliporacee), țepos (hidneacee), cu suprafață netedă *(Clavaria)*. După 1887, Patouillard se ridică însă împotriva acestei concepții. După el, există doar heterobazidii (bazidii pluricelulare) și homobazidii (bazidii unicelulare). Poliporaceele, agaricaceele, teleforaceele, clavariaceele sînt familii ale aceluiași ansamblu natural. În ciuda unei deosebiri aparente, legăturile profunde dintre ele au fost puse în evidență: la unele, himenoforul este moale și detașabil (lamelar sau cu pori), iar la altele, lemnos și neseparabil. În 1900, el deosebește două familii de homobazidii, afiloforale (himeniul gol cu creștere nedeterminată) și agaricine (vălul universal, himeniu determinat).

Acestea sînt bazele pe care se va elabora, mai ales, în Franța (descoperirea pseudoangiocarpiei la *Boletus*, R. Kühner, 1926, și la *Russula*, R. Heim, 1936), una dintre cele mai originale ramuri ale micologiei contemporane. Lucrările de citologie, de microanaliză și de morfologie comparată și experimentală au permis schițarea elementelor unei clasificări, în întregime reînnoită (R. Heim, 1931—60): grupul eterogen al gasteromicetelor ar proveni parțial, pe diverse căi, de la agaricale. Acest punct de vedere, care se opune celui al lui R. Singer, va duce la fragmentarea gasteromicetelor, a căror clasificare se bazează pe cercetările lui H. Lhowag (1924—34) și E. Fisher (1933).

În ceea ce privește bazidiomicetele cu heterobazidii (uredinale, ustilaginale, auriculariale, tremelale etc.), lor le-au fost consacrate numeroase publicații. Cu ciupercile parazite care produc rugini și tăciuni ne găsim într-un domeniu foarte important al fitopatologiei, cu cercetări deosebit de fecunde din punctul de vedere al biologiei generale. În special problemele reproducerii la pucciniacee au dus la descoperiri răsunătoare (R.F. Allen, 1928—35; J. H. Craigie, 1927; C.E. Andrus, 1931—33). Între 1904 şi 1907, V.H. Blakmann şi A.H. Christman au demonstrat existenţa unei adevărate alternanţe a generaţiilor în acest caz. Multe alte nume[13] nu pot fi despărţite de cercetările asupra ciupercilor care produc tăciuni (Brefeld, 1881—1912; F. Rawitscher; E. Paravicini; H.S. Jackson; W.F. Hanna; H. Kniepp; J.I. Liro, 1935—38; etc.). Din punct de vedere taxonomic, C.B. Plowright (1889) a dovedit omologia esenţială a probazidiilor (teliospori) la uredinale şi ustilaginale. Una dintre problemele cele mai interesante a fost ridicată de existenţa a numeroase rase la anumite specii, ca *Puccinia graminis* (J. Eriksson, 1894, 1929; M.A. Carleton; E.C. Stakman). W.C. Waterhouse (1929) a arătat că anumite rase noi ar rezulta din acestea prin hibridare.

---

[12] În cuprinsul capitolului „Micologie“ termenul de *filum* nu este adecvat. Însuși Chadefaud, care este citat în lucrare, nu denumește astfel grupările pe care le delimitează în cadrul ciupercilor. — *V.I.*

ASCOMICETE. La sfîrşitul secolului al XIX-lea, se deosebeau, în general, patru mari grupe, bazate pe structura ascofructelor: *Licheni*, în componenţa cărora intră algele de apă dulce; *Discomicete*, cu himeniu extern şi care acoperă adeseori un corp fructifer în formă de cupă sau de disc sau de măciucă (*Peziza*, *Morchella*, *Helvella* etc.); *Plectascales* şi *Pirenomicete* cu himeniu intern într-un ascofruct denumit pericheţiu. Primele decenii ale secolului nostru au furnizat numeroase cunoştinţe noi despre aceste grupe, datorită mai ales suedezului J.A. Nannfeldt (1932).

După 1900, E.J. Durand a pus accentul pe structura internă a ascofructului la Pezizales. E. Boudier (1879, 1907) a recunoscut valoarea taxonomică a caracterelor legate de modul de deschidere a ascei şi a împărţit discomicetele în operculate şi neoperculate (grup eterogen şi încă insuficient cunoscut). În continuare, savanţii şi-au îndreptat tot mai mult atenţia asupra analizei fine a sporilor şi a ascelor (Chadefaud, 1942—44; M. Le Gal).

Cercetările lui von Höhnel (1902—23), F. Theissen, G. Arnaud, J. Müller, Nannfeldt 1932), împreună cu cele ale lui E.J.H. Corner, mai ales cele embriologice, au dus la o nouă concepţie asupra fructificaţiilor şi a ascelor. Nannfeldt deosebeşte fructe ascoloculare (la pirenomicete), fructe ascohimeniale (la discomicete şi pirenomicetele propriu-zise) şi ascofructele de tip plectascal, care sînt false peritecii. Criteriile lui Nannfeldt se dovedesc adesea greu de folosit, dar E.S. Luttrell (1951) a descoperit o corelaţie interesantă cu structura ascei. Această clasificare lasă afară anumite categorii speciale, cum ar fi levurile sau labulbenialele.

Printre cele mai interesante lucrări taxonomice amintim pe cele ale lui R. Thaxter asupra ordinului foarte deosebit al labulbenialelor; ale lui F. W. Zopf şi F. Tobler, ale lui Moreau asupra lichenilor; ale lui H. Gilkey asupra tuberalelor.

FICOMICETE. O mare parte dintre aceste ciuperci (Oomicete) au o viaţă acvatică şi se reproduc prin celule mobile; celelalte (Zigomicete) sînt lipsite de celule mobile. Atît la unele, cît şi la celelalte, miceliul este reprezentat prin tuburi sau hife ramificate, fără pereţi celulari, conţinînd numeroase nuclee.

---

[13] Savantul biolog român Traian Săvulescu (1889—1963), fondatorul şcolii de fitopatologie din România, a efectuat vaste cercetări de botanică, micologie şi fitopatologie. Un loc important în studiile sale îl ocupă ciupercile care produc rugini, mălură şi tăciuni, rezultatele cercetărilor fiind sintetizate în *Monografia uredinalelor din R.P.R.* (1953) şi *Monografia ustilaginalelor din R.P.R.* — *Nota red. rom.*

La sfîrşitul secolului trecut erau cunoscute principalele tipuri din acest grup (chitridiale, mucorale, entomoftorale, peronosporale, saprolegniale, monoblefaridale). Importanţa anumitor caractere era bine cunoscută, de exemplu oogamia la *Monoblepharis* (M. Cornu).

Domeniul acestor studii s-a lărgit rapid. Cercetările recente (Ingold, 1951—55) au arătat că habitatul acvatic era propriu şi anumitor ascomicete şi „ciuperci imperfecte". În 1925, referitor la tipul flagelelor celulelor reproducătoare, A. Scherffel a deosebit în cadrul ficomicetelor acvatice, chitridialele (cu strămoşi uniflagelaţi) şi saprolegnialele peronosporale (cu strămoşi biflagelaţi). În acest fel s-au deschis noi căi pentru progresul ştiinţei contemporane. Cercetările lui F.B. Cotner (1930), C.R. Dreschler, J.N. Couch, W.H. Weston şi Sparrow (1943—59) etc. au introdus o nouă concepţie, bazată pe tipul de zoospor şi pe habitat; astfel a fost pusă în evidenţă eterogenitatea grupului.

D. REPRODUCEREA

Cunoştinţele dobîndite în ultimul sfert al secolului al XIX-lea referitoare la biologia florală, la sexualitate, la ereditatea în regnul vegetal au imprimat acestei epoci un caracter de o importanţă excepţională. După 1900, după redescoperirea legilor lui Mendel, a fost pusă în evidenţă reunirea, care va fi determinantă, a două ştiinţe cheie, citologia şi genetica. Prin cunoaşterea fenomenelor *chiasmata* (F.A.Janssens, 1909) şi *crossing-over* (T.H.Morgan, 1912), s-a realizat un mare progres spre sinteza pe care o reprezintă lucrarea lui C.D.Darlington, *Recent Advances in Cytology* (1932). Cercetările fundamentale ale lui C.B.Bridges (1916—20) şi Belling constituiau o citogenetică ce avea să lămurească fenomenul sexualităţii, făcînd din fecundare un proces destinat schimbului material de porţiuni de cromozom: „recombinarea genică". Meioza are ca rezultat producerea de gameţi calitativ diferiţi la fiecare generaţie; prin fecundare se reconstituie indivizi diploizi, genetic originari. Aceasta părea a fi legea generală. În urma lucrărilor lui A.Roux (1883) şi plecînd de la o bază pur teoretică, Weismann definise procesul sexual ca fiind destinat să introducă în ereditate variaţia, prin combinarea variaţiilor individuale şi în legătură cu selecţia naturală. După Koelreuter (1763) şi K.Sprengel, Darwin a arătat că plantele dispun de adaptări diverse pentru a împiedica autopolenizarea şi pentru a uşura polenizarea încrucişată. Semnificaţia fenomenului nu i-a scăpat: în fecundaţia încrucişată seminţele au o mai mare putere de germinaţie; ele sînt mai abundente, mai grele, deci cu o mai mare valoare selectivă în evoluţie, cel puţin în numeroase medii.

Descoperirile lui Darwin, ale lui H. Müller (1873—81) şi tratatul publicat de P.Knuth (1898) au pus bazele unuia dintre cele mai largi domenii ale ştiinţei contemporane, în care vor apărea lucrări remarcabile, ca cele ale lui Kerner von Marilaun (1913) şi O.Porsch (1922), sau cele entomologice, ale lui K. von Frisch. După 1908 (E.East) şi 1909 (G.H.Shull), analiza genetică a autofecundării a confirmat efectele nefaste ale acesteia în anumite condiţii. Dar curînd atenţia biologilor a fost atrasă de problema generală a mecanismelor de reproducere. Studiul comparativ al sistemelor de reproducere în funcţie de medii, efectuat în ultimii 20 de ani, a dus la formularea unei ipoteze deosebit de interesante referitoare la geneza sexualităţii şi evoluţia ei. Fenomenele observate la bacterii, care au o structură nucleară puţin dezvoltată (A.Lwoff, 1943) au permis să se întrevadă o nouă concepţie asupra fenomenelor nucleare; mai ales recombinarea genică a fost observată şi chiar provocată artificial (1955). În acest fel, ideea unei legături necesare între sexualitate şi organizarea atît de complexă şi perfectă a nucleului plantelor superioare a fost zdruncinată: ar exista deci antecedente mult mai primitive, dar nu mai puţin funcţionale şi nici mai puţin selective, la o altă treaptă (poate presexuală).

Fanerogamele formează un grup remarcabil prin unitatea sa: noţiunile de floare, de sifonogamie, de polenizare, de sămînţă nu se regăsesc în nici o altă parte a lumii vii. Chiar în interiorul fanerogamelor, singularitatea angiospermelor nu este mai puţin evidentă: dubla fecundare într-un sac embrionar, cel mai adesea 8-nucleat, şi formarea fructului sînt tot atîtea fenomene necunoscute la nivelele inferioare ale piramidei taxonomice. Multe cercetări au fost îndreptate spre lămurirea acestor probleme şi s-au soldat cu o creştere considerabilă a cunoştinţelor noastre: atît fapte noi, cît şi înţelegerea lor.

La organismele inferioare, alge şi ciuperci, la care sexualitatea s-a dovedit de o extraordinară diversitate, progresul a fost mult mai lent, cercetarea fiind îndreptată mai ales spre prospectare, definire şi clasificare, fără a pierde din vedere scopul final al elaborării unei teorii generale a reproducerii.

ALGE. Încă din 1856, Pringsheim a încercat să extindă la alge teoria alternanţei generaţiilor de la plantele superioare, stabilită de Hofmeister, teorie care afirmă că dezvoltarea ontogenetică a unei plante se desfăşoară după un ciclu format din două faze: una asexuată, producătoare de spori — sporofitul, şi alta sexuată, producătoare de gameţi — gametofitul. După cercetările lui E. Strasburger (1893), care i-au dat o bază citologică, aceste faze s-au dovedit a fi nişte piloni ai biologiei moderne: sporofitul diploid care provine din germinarea zigotului produce sporii haploizi din care derivă gametofiţii; meioza şi cariogamia reglează această alternanţă.

Între 1850 şi 1900, cercetările referitoare la sexualitatea algelor au fost extrem de active şi fecunde şi au dus îndeosebi la două descoperiri foarte mari: fecundarea (Thuret şi Pringsheim, 1853—55) şi cariogamia vegetală (C.J.F.Schmitz, 1879; G.Berthold, 1881). A fost însă necesară o jumătate de secol de cercetări pentru ca să se obţină dovada decisivă a existenţei unei alternanţe a generaţiilor la aceste organisme. În 1897 a apărut primul studiu cromozomic asupra unei alge, *Fucus*, care pînă atunci era considerată ca fiind un gen diploid (Strasburger); abia în 1909, S.Yamanuchi stabileşte locul meiozei în cadrul ciclului.

Observaţiile lui J. Reinke (1878) şi P. Falkenberg (1879) au dus, fără îndoială, la concluzia că algele brune din genurile *Cutleria* şi *Aglaozonia*, socotite ca fiind distincte, reprezentau, de fapt, două generaţii ale aceluiaşi ciclu; acest fapt nu a fost demonstrat pe o bază cariologică decît în 1910 (S. Yamanuchi): *Cutleria* este gametofitul haploid (şi dioic), iar *Aglaozonia*, sporofitul diploid, producător de zoospori; planta este deci o diplobiontă heteromorfică; cele două generaţii diferă prin aspectul lor vegetativ.

Cel care a dovedit (1897—1904) existenţa unei alternanţe la alge a fost J.L. Williams. Cercetările sale au stabilit că la *Dictyota* (o algă brună), gametofiţii haploizi (şi dioici) alternează cu sporofitul diploid, şi unii şi alţii avînd o structură vegetativă identică (diplobiontă izo- sau homomorfică). Această descoperire a fost surprinzătoare; ciclul cuprindea, de fapt, două plante, atît independente, cît şi identice din punct de vedere vegetativ.

În 1905, C.E. Allen a stabilit faptul că la *Coleochaete* (algă verde) meioza are loc la germinarea zigotului (oului); în acest caz, cele două stadii sînt în întregime haploide, dar diferă una de cealaltă din punct de vedere vegetativ. Faptele constatate impuneau o remaniere profundă a teoriei în ceea ce priveşte corespondenţa fazelor citologice şi a generaţiilor. Acesta constituia însă doar primul pas.

Încă din 1906, Yamanuchi descoperea meioza la o algă roşie, *Polysiphonia violacea*, la care se întîlnesc două tipuri de sporofiţi: carposporofitul, fixat totdeauna pe gametofit, şi tetrasporofitul, independent. La *Polysiphonia* există o alternanţă de trei generaţii, dintre care două sînt independente: doar gametofitul (dioic) este haploid. Apoi au apărut descoperirile lui Yamanuchi asupra genului *Fucus* şi asupra cutlerialelor; cele ale lui N. Svedelius, din 1915, asupra algei roşii *Scinaia*, fără tetrasporofit, la care meioza intervine îndată după fecundare. Tot în 1915 are loc descoperirea algologului francez, C. Sauvageau, asupra reproducerii şi ciclului unei laminarii banale, *Saccorhiza bulbosa*, în realitate o diplobiontă heteromorfică comparabilă cu ferigile. Cercetările lui Sauvageau, care a folosit o metodă fină de cultură, au fost extinse şi la alte specii. În următorii 10 ani, s-a iniţiat un vast domeniu de cercetări care aveau să se dovedească de o fecunditate extremă. Mai ales suedezul Kylin a adus o contribuţie excepţională la cunoaşterea ciclurilor la algele brune şi roşii.

În diversitatea de neînchipuit a acestor organisme, pusă în evidenţă în ultima jumătate de secol, unul dintre cazurile cele mai interesante a fost acela descoperit de J. şi G. Feldmann (1942, 1952). Ei au arătat că bonnemaisonniaceele cunoscute nu erau decît gametofiţii unor specii, ai căror tetrasporofiţi fuseseră consideraţi pînă acum drept genuri distincte ale unei alte familii. Iar de curînd s-a stabilit (F. Magne, 1960) că aceşti tetrasporofiţi, plante filamentoase pitice, care de la Svedelius încoace (1933) au fost socotite haploide, sînt, în realitate, diploide.

Pe baza lucrărilor lui P. Kornmann (1938), F. Feldmann (1950—54) a stabilit ciclul heteromorfic al anumitor alge verzi importante. Aceste diverse cercetări au dus la descoperirea anumitor mecanisme evolutive bazate pe independenţa fazelor şi a generaţiilor: deplasarea meiozei şi separarea definitivă a ciclurilor.

Într-un alt domeniu, trebuie menţionate experienţele lui M. Hartmann şi Moewus. Încă din 1923, Hartmann a emis ipoteza că toţi gameţii posedă atît potenţialităţi masculine, cît şi feminine, dintre care una o domină pe cealaltă şi determină sexul. Această concepţie a permis interpretarea anumitor fenomene de sexualitate relativă, cum ar fi unirea a doi gameţi de acelaşi sex la o algă brună *(Ectocarpus)* şi la *Chlamydomonas eugametos* (Moewus, 1939). Continuîndu-şi cercetările referitoare la substanţele sexuale secretate de gameţi, care condiţionează sexualitatea relativă, Moewus a arătat că procesul ce are loc este legat de degradarea unui carotenoid şi că la fiecare nivel de degradare, substanţa produsă acţionează în mod specific pentru a induce motilitatea, a declanşa atracţia gameţilor, sau a diferenţia sexul. Aceste rezultate se apropie de cele ale lui J.R. Raper (1951), asupra hormonilor sexuali ai ciupercilor.

CIUPERCI. Studiul sexualităţii la ciuperci este iniţiat în secolul al XX-lea prin lucrările fundamentale ale şcolii franceze: P.A.Dangeard şi Sappin-Trouffy, R.Marie, A.Guilliermond.

Cercetările lui Dangeard (1894) asupra sexualităţii ciupercilor superioare (ascomicete şi bazidiomicete) contravin ideilor lui O. Brefeld şi reprezintă o cotitură. Ele aduc dovada fuziunii nucleare în asce şi în bazidii confirmînd semnificaţia ei sexuală, precum şi marea ei generalitate la ciupercile superioare. În cadrul „fuziunii dangeardiene", nucleele ce se împerechează sînt asimilate gameţilor. După 1895, R.A. Herper descrie o „altă cariogamie" la ascomicete, care ar constitui, după el, adevărata fuziune a gameţilor, mult mai precoce decît cea observată de Dangeard. În general, se consideră (Claussen, 1912) că cele două fenomene reprezintă etapele unui proces prelungit care începe prin suprapunerea nucleelor masculin şi feminin şi se termină tîrziu, prin fuziune.

Opera remarcabilă a lui Guilliermond (1902—40) s-a referit la drojdii, pe care Pasteur le-a dovedit a fi fiinţe vii. Marii pionieri ai studiului lor taxonomic au fost M. Reess (1870) şi E. Hansen (1879). Guilliermond a descoperit sexualitatea drojdiilor care se manifestă în mai multe forme cu totul deosebite. Aceste splendide lucrări l-au condus la definirea precisă a naturii şi clasificarea drojdiilor ca organisme autonome (teza lui E. Hansen), şi nu ca simple faze de dezvoltare ale unei ciuperci superioare (şi deci înrudirea lor parţială cu ascomicetele pare bine stabilită).

În realitate, la ciuperci a fost pusă în evidenţă o mare diversitate de cicluri, deosebindu-se şapte (Raper, 1954), dintre care un ciclu în întregime haploid (meioza urmează îndată după fuziunea celulelor sexuale, ceea ce reprezintă un caz frecvent la ficomicete şi la ascomicetele primitive) şi unul în întregime diploid (la anumite ficomicete şi la drojdii).

După 1904 şi după descoperirea, de către americanul A.F. Blakeslee, a *heterotalismului* la Mucorales (ficomicete), a fost iniţiat un imens domeniu de cercetări. După studiile lui Brefeld, metoda culturii monosporale s-a dezvoltat mult, dar generalizarea ei s-a lovit, în anumite cazuri, ca în cel al speciei *Rhizopus nigricans*, de eşecuri repetate. Blakeslee a demonstrat că la această specie, pe care a denumit-o heterotalică, taluri aparent asemănătoare se repartizează în două categorii fiziologice pe care el le-a notat cu semnele + şi — , împerecherea neputîndu-se efectua decît între taluri provenite din spori de semne diferite. *Sporodinia grandis*, denumită homotalică, produce spori bipotenţiali.

Heterotalismul a fost regăsit la ascomicete şi bazidiomicete. H. Burgeff a arătat (1924) că la mucoralele heterotalice, separarea sporilor + şi — are loc în sporangele de germinare provenit din zigot şi în proporţii sensibil egale; fiecare spor germinează într-un tal de acelaşi semn. Uneori, separarea sporilor se efectuează în zigot, iar sporangioforul care poartă sporangele de germinare este deja polarizat în sensul + sau —. Cercetările asupra heterotalismului au demonstrat că acest fenomen se deosebeşte de sexualitate, căreia i se şi poate substitui în cursul evoluţiei. La ascomicetele cu tal hermafrodit, împerecherea nu intervine decît sub acţiunea factorilor A şi a, deosebiţi de sex, dar care diferenţiază taluri şi formează un fel de „clanuri sexuale".

Este bine stabilit acum faptul că determinismul heterotalismului are o natură genetică fiind legat de o interpretare mendeliană. Prin intervenţia factorilor şi a separărilor factoriale, Dodge (1927) a explicat comportarea heterotalică la *Neurospora*. Studiul heterotalismului la bazidiomicete a confirmat complexitatea acestui fenomen. Unul dintre cele mai interesante rezultate l-a constituit evidenţierea fenomenului de tetrapolaritate (Vandendries, 1922—37; Quintanilha): 4 factori mendelieni, şi nu 2 ca la ascomicete, condiţionează heterotalismul.

Astfel, la ciuperci, ca şi la plantele superioare, există incompatibilităţi cu determinism genetic, care se suprapun sexului propriu-zis pentru a dirija reproducerea speciei; dar în acest caz ele sînt adesea mai puţin eficace (datorită importanţei haploidiei). La anumite ciuperci *(Puccinia)* există chiar un echivalent al polenizării încrucişate, în care insectele asigură fecundarea în cadrul aceleiaşi specii (J.H. Craigie, 1927). La ciuperci, ca şi la organismele superioare, reproducerea sexuată se găseşte la originea separărilor şi recombinărilor genice, chiar în cazul speciilor homotalice (deoarece indivizii sînt diferiţi şi din punct de vedere genetic).

Anumite ciuperci prezintă fenomene deosebite, ca heterocarioza, caracterizată prin fuziuni asexuale între hife miceliene, iar în cele din urmă prin unirea nucleelor într-o aceeaşi celulă. N.H. Hansen şi R.E. Smith (1932) au demonstrat (la *Botrytis cinerea)* că aceste celule multinucleate sînt genetic eterogene (nucleul reprezintă unitatea de separare); un singur spor furnizează în cultură trei micelii diferite. Acest mecanism pare extrem de important şi de avantajos în adaptarea la anumite condiţii. Cercetări recente (G. Pontecorvo, 1956) au stabilit chiar că la unele specii de *Penicillium* ar exista un proces parasexual, echivalent celui sexual în privinţa rezultatelor, dar provenind din heterocarioză şi realizîndu-se într-un mod cu totul diferit.

În domeniul fiziologiei heterotalismului, descoperirile au fost, de asemenea, deosebit de remarcabile. Încă din 1924, H. Burgeff a arătat că formarea organelor sexuale feminine depinde de secreţiile hormonale ale talului + la *Mucor mucedo.* Mai tîrziu (1935) au fost puse în evidenţă şi secreţii reciproce ale talului. Cercetările lui Raper (1931—51) asupra unei ficomicete acvatice au dovedit extrema complexitate a acestui fenomen, în care intervin o serie de secreţii hormonale specifice şi riguros coordonate. O serie de experienţe recente au arătat, de asemenea, că la ferigi (polipodiacee), hormonii specifici sînt cei care declanşează diferenţierile sexuale ale protalelor. Procese asemănătoare intervin şi la plantele cu flori, iar Moewus a descoperit rolul anumitor substanţe în fenomenele de incompatibilitate la florile heterostile.

Din istoria botanicii după 1900, în care am încercat evidenţierea anumitor aspecte, rezultă două noţiuni, care puteau fi descoperite încă din secolul precedent, dar care prezintă în secolul nostru o valoare esenţială. Acestea se referă, în primul rînd, la întărirea continuă a unităţii biologiei vegetale şi a unităţii biologiei generale, în strînsă legătură cu aprofundarea extraordinară a cunoştinţelor noastre asupra naturii, originii şi evoluţiei vieţii. În al doilea rînd, este vorba de o reînnoire bruscă şi nebănuită a caracterului însuşi al biologiei; exemplul este evident în fiziologia vegetală şi în morfologia generală, în care au putut fi depăşite o serie de etape tehnice decisive, precum şi în taxonomie, în care sînt în curs transformări profunde. Trebuie să recunoaştem că biologia contemporană nu mai poate fi recunoscută uşor în predecesoarea ei de la începutul secolului, luînd uneori aspect de mutaţii, dar că există totuşi în evoluţia ei o continuitate profundă internă.

PARTEA A CINCEA MEDICINA

Ultimii cincizeci de ani de cuceriri medicale au dus la înfăptuirea unor progrese mai mari decît realizările din miile de ani anteriori. Tabloul medicinii din secolul al XX-lea poate crea impresia unei revoluții medicale, deși contemporanii nu apreciază suficient caracterul impetuos și consecințele sale greu de evaluat. Această revoluție medicală contemporană nu este atît rezultatul saltului genial al spiritului care se avîntă pe un teren necunoscut pentru a descoperi o lume nouă, cît mai ales al muncii asidue a unei întregi armate de cercetători. În chip fericit, aceștia și-au intensificat studiile în domeniile de la frontiera medicinii cu științele învecinate. Dezvoltarea radiologiei, a ultramicroscopiei și electroforezei, a ultracentrifugării și microdozărilor, ca și a hormonologiei, enzimologiei, a vitaminologiei, a chemoterapiei și a terapeuticii cu antibiotice, a științei eredității adaptată la om și a statisticii aplicate la epidemiologie constituie deopotrivă exemple de realizări medicale datorate diverselor științe și demonstrația unui important eveniment contemporan: pătrunderea în studiul bolilor umane a exigenței spiritului științific. Judecății „după impresie" i-a luat locul diagnosticul verificat, care nu exclude însă în nici un caz spiritul clinic, caracterizat prin capacitatea de a realiza observații impecabile, analize exacte și sinteze valabile. Tratamentelor empirice, al căror domeniu se restrînge, li se opun terapeutici cu efecte măsurabile. Aceasta nu exclude, ci, dimpotrivă, implică sarcina mult mai delicată a adaptării tratamentului la fiecare caz particular, mai cu seamă fiindcă eficacitatea medicamentelor ce se găsesc azi la îndemîna oricărui terapeut îl transformă pe acesta într-un adevărat vrăjitor, a cărui putere trebuie exercitată cu înțelepciune.

La sfîrșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea, cînd patologia devenise o știință precisă, cînd multe boli erau definite și cunoscute, medicina progresa greu din cauza a două lipsuri majore.

Prima era legată de însuși caracterul mijloacelor de explorare. Medicul dispunea de datele furnizate de interogarea pacientului sau a anturajului său și de informațiile pe care le culegea privind, palpînd, percutînd sau auscultînd bolnavul. Auscultația constituise marea descoperire a lui Laennec de la începutul secolului al XIX-lea, ea permițînd, cu ajutorul documentelor anatomice, să se stabilească o semiologie solidă, deși încă elementară, a bolilor de inimă și pulmonare. Atîta timp cît medicul nu dispunea decît de ochii, de urechile și de degetele sale, examinarea pe care o efectua, oricît ar fi fost ea de riguroasă, nu putea furniza — în majoritatea cazurilor — decît anumite elemente de diagnostic.

A doua lipsă era legată de faptul că medicul era cel mai adesea lipsit de posibilitatea de a acţiona. El era foarte slab înarmat împotriva majorităţii bolilor infecţioase acute. Împotriva bolilor cronice, de nutriţie, endocrine, împotriva tuberculozei, diagnosticul nu aducea adesea decît o satisfacţie sterilă, deoarece bolnavii nu puteau fi vindecaţi de tulburările care îi chinuiau, iar medicul asista neputincios la evoluţia implacabilă a majorităţii bolilor grave.

Timpurile s-au schimbat. Desigur, examenul clinic rămîne baza de neînlocuit a actului medical. Spiritul de observaţie cel mai rafinat, bunul simţ cel mai solid, memoria cea mai fidelă, judecata cea mai sigură rămîn, mai mult ca oricînd, indispensabile pentru medici. Dar acest atît de necesar examen clinic, repetat sistematic, cît se poate de meticulos şi de atent, este considerat azi drept un punct de plecare din care vor porni multiple explorări. Tehnicile moderne, descoperite în ultimii 50 de ani, sînt foarte adesea necesare pentru confirmarea şi precizarea diagnosticului stabilit prin examenul clinic. Informaţiile furnizate de semnele clinice şi de tehnicile de explorare se completează pentru a conferi actului medical întreaga sa valoare: precizările obţinute prin observarea într-o eprubetă sau cele furnizate de un instrument sînt la fel de valabile ca şi percepea unui suflu al inimii. Toate se completează între ele în vederea atingerii scopului: un diagnostic precis şi complet. Astăzi, stabilirea diagnosticului îşi dă roadele, deoarece medicina dispune de arme noi şi puternice, reprezentate de terapeuticile fiziologice, chimice sau antibiotice.

Expunerea noastră va cuprinde trei părţi:

Vom prezenta mai întîi noile tehnici de explorare, care permit o mai bună pătrundere în intimitatea organelor şi o detectare a tulburărilor profunde, adesea secrete sau discrete: radiologia, endoscopiile, biopsiile, metodele biofizice sau biochimice şi probele funcţionale ce decurg din acestea.

Vom examina apoi progresele cunoştinţelor medicale, realizate mai ales datorită aplicării acestor tehnici şi fineţei observaţiilor: boli cunoscute mai bine, înţelese mai bine, precum şi boli nou descoperite.

Vom aborda, în sfîrşit, importantul capitol al evoluţiei terapeuticii[1].

---

[1] Autorii mulţumesc pentru preţioasa lor colaborare doctorilor J.J. Alloiteau, B. Auvert, Jean Dausset, A. Doumic, H. Gounelle, H. Larrieu, H. Lauret, G. Lavier, J. Lefebre, J. Lepintre, H. Mathieu, J. Michel, Ph. Monod-Broca, G. Schapira, J. Sclafer, M. Tubiana, J. Zha.

CAPITOLUL I
Tehnici şi explorări

A. RADIOLOGIE

Folosirea radiaţiilor în medicină a luat un asemenea avînt, încît astăzi este greu să poţi cuprinde totalitatea problemei.

Marile descoperiri au început la sfîrşitul secolului al XIX-lea. De la descoperirea de către Roentgen în 1895 a radiaţiilor X, şi de către Becquerel a radioactivităţii naturale (1896), urmată de aceea a radiului, de către soţii Pière şi Marie Curie (1898), se pot deosebi trei perioade de progres:

1. De la 1895 pînă prin 1931, cînd inginerii şi medicii sînt preocupaţi de perfecţionarea materialului radiologic.
2. A doua perioadă începe în 1921, o dată cu apariţia explorării lipiodolate a lui Sicard şi se întinde pînă în zilele noastre; în acest interval de timp se dă o mare importanţă produselor de contrast.
3. A treia perioadă, al cărei punct de plecare poate fi considerat prima explozie nucleară, se caracterizează prin preocuparea în legătură cu cantitatea de radiaţie primită de bolnav în cursul examenelor radiologice.

Curînd după descoperirea lui Roentgen, problema generatorilor a fost destul de rapid dezvoltată. Dar erau necesare tuburi capabile să suporte forţele electrice disponibile. Tuburile cu gaz au fost înlocuite prin emisia termoionică în vid, a lui Coolidge (1913), folosindu-se răcirea întîi cu apă, apoi prin ventilaţie şi, în sfîrşit, cu un circuit de ulei.

Calităţile optice ale focarului emiţător, legate de fineţea şi de lustruirea suprafeţei sale, depind de încălzirea provocată de bombardamentul catodic. O parte a problemei a fost rezolvată prin înlocuirea platinei cu tungsten, apoi supunînd tungstenul unor prelucrări speciale. Cealaltă parte şi-a găsit rezolvarea mai întîi prin concentrarea fluxului catodic. Apariţia anodelor înclinate pe axă a reprezentat un alt progres. Tuburile bifocale ale lui Müller au furnizat un focar mai fin pentru studiul structurilor mici, şi unul mai mare pentru examinările necesitînd puteri mari. Dar soluţia cea mai elegantă a fost găsită în 1931 de olandezul Bouwers d'Einthoven, care, imaginînd rotirea anodei, a înzecit suprafaţa termică pentru o aceeaşi suprafaţă optică şi a conferit tuburilor o putere electrică suficientă pentru toate examinările dorite.

Cea de-a doua perioadă, din 1921 pînă în zilele noastre, a fost cea a utilizării şi dezvoltării contrastelor, prin îmbunătăţirea suprafeţelor sensibile, prin crearea unor contraste artificiale la subiecţi şi, în sfîrşit, prin amplificarea logelectronică a probelor obţinute.

Încă de la începutul erei radiologice, contrastele fotografice nu au încetat să se perfecţioneze. În 1912, Potter şi Bucky au inventat grila antidifuzantă. În 1914, filmul înlocuieşte placa de sticlă. În 1917, G. Eastmann emulsionează filmul pe ambele feţe, la stăruinţele lui Luboschez. În 1920, Wilsey găseşte o soluţie practică problemei ecranelor intensificatoare, întrevăzută încă din 1897 de Winkelman şi Straubel. Ch. Guntz din Alger le perfecţionează prin folosirea cristalelor de sulfură de zinc şi de cadmiu.

Folosirea contrastelor artificiale, opacizante sau clarificatoare, datează, fără îndoială, din primele momente ale utilizării radiaţiilor X. Este incontestabil că primul studiu care a beneficiat de toate aceste realizări a fost cel al tubului digestiv: opacizarea stomacului de broască cu bismut (W.B. Cannon, 1898), apoi folosirea în 1898 de către Rieder din Viena, la oameni, a prînzului bismutat, care îi poartă numele. Cam în aceeaşi perioadă, Béclère este primul care foloseşte insuflarea gastrică, iar Thoraude şi Bensaude introduc opacifierea cu geluri de bariu.

Primele leziuni gastrice au fost descrise de şcoala de la Viena, prin Holzknecht în 1906 şi Haudek în 1910, ale căror nume rămîn legate de imaginea nişei gastrice. În 1913, Forsell obţine primele imagini ale reliefului mucoasei gastrice. În 1920, Gregory şi Cole (New York) preconizează efectuarea clişeelor în serie. Această idee este reluată de suedezul Akerlund şi de francezul Gutman, care efectuează în 1929 confruntări clinico-radiologice ale sindroamelor dureroase epigastrice.

Introducerea examinărilor farmacodinamice digestive este legată în special de eforturile unor cercetători francezi: acţiunea prostigminei asupra intestinului, studiată de Rachet şi Arnous în 1939; acţiunea morfinei asupra mucoasei gastrice, cercetată de P. Porcher în 1944, studiul satisfăcător al intestinului subţire, efectuat de Cherigié în 1950, în timp ce studiul colonului datează încă de la începutul secolului prin cercetările lui Haenisch şi Aubourg, care au preconizat supraîncărcarea, şi la care Fischer şi Ledoux-Lebard au adăugat insuflarea, iar Knothe, evacuarea. În 1931, apariţia sondei lui Pouliquen a înlesnit efectuarea analizelor, în timp ce examinarea de urgenţă a abdomenului a fost codificată şi clarificată de Mondor, Porcher şi Olivier.

Dar alături de explorarea digestivă, trebuie amintit că în 1918 Chevalier Jackson a realizat prima bronhografie la om, insuflînd pulbere de bismut cu ajutorul bronhoscopului său. În 1921, lucrările lui Sicard permit obţinerea primei bronhografii lipiodolate. În 1945, în Statele Unite, Donner creează lipiodolsulfanilamina, în timp ce în 1948 Moralès şi Heiwinkel în Suedia şi Fischer în Elveţia folosesc substanţe hidrosolubile resorbabile de tipul ioduronului B.

Prima încercare de uretrografie datează din 1897, fiind efectuată de Tuffier, cea de cistografie din 1905, fiind opera lui Wulf şi A. Schönberg, în timp ce prima explorare renală a avut loc abia în 1918, prin Cameron care a folosit iodură şi apoi bromură de sodiu. În 1914, Carry face o primă încercare de histerografie, folosind colargolul, iar în 1918, Dandy reuşeşte prima ventriculografie la om.

În 1921, utilizarea radiologică a lipiodolului lui Lafay de către Sicard şi Forestier a permis un progres important în radiodiagnosticare, deschizînd calea multor derivaţi iodaţi şi permiţînd mărirea opacizării odată cu micşorarea toxicităţii produselor. Astfel, în 1921 se naşte mielografia sau proba lui Sicard. Dar una dintre cele mai mari revoluţii radiologice determinate de substanţele opacizante iodate este posibilitatea explorării sistemului vascular.

Este legitim să aducem un omagiu şcolii portugheze pentru excepţionala sa contribuţie în acest domeniu. În 1929, R. dos Santos creează aortografia. În 1930, H. Monteiro, A. Rodriguez, R. de Carvalho şi S. Pereira publică primele limfografii. În 1931, Egas Moniz realizează prima angiografie cerebrală. În 1929, germanul W. Forssmann prezintă prima angiopneumografie, realizată asupra propriei sale persoane după o injecţie efectuată cu un cateter introdus prin venele periferice pînă la inimă. Dar tehnica angiocardiografiei, aşa cum este practicată astăzi în serviciile cardiologice din lumea întreagă, a fost creată de C. Pereira şi Garcia de Cuba la copii, în 1937, şi de Robb, Steinberg şi H. Taussig din New York, în 1938. În sfîrşit, flebografiile au fost efectuate pentru prima oară de R. dos Santos, în 1935.

Colecistografia apare în 1924, cînd Graham şi Cole din New York şi-au publicat lucrările asupra opacifierii artificiale a vezicii cu o sare sodică de tetraclor- şi apoi tetrabromftaleină, pe care Whitaker şi Milliken o înlocuiesc în 1925 cu tetraiodftaleina. În 1928, datorită lui Sandstron, opacifierea pe cale orală furnizează imagini valabile, pe care Boyden le perfecţionează şi mai mult; datorită simplităţii ei mai mari, ea înlocuieşte calea intravenoasă, pînă la apariţia biligrafinului — în 1953 — care permite, pentru prima dată, opacifierea căii principale în chip uniform.

Colangiografia postoperatoare a fost introdusă în 1922 de Mirrizi şi Bérard, în timp ce G.Mallet i-a dovedit întreaga importanţă în 1925. Prin 1930, Caroli, G.Mallet şi Mirrizi au insistat asupra marelui ei interes intraoperatoriu, asociindu-i şi radiomanometria. Apariţia moleculelor hexaiodate de acid diadipic (3—carboxi-2,4,6-triodanilid) furnizează aceleaşi date înaintea sau în afara oricărei intervenţii şi permite explorarea colecistectomizaţilor.

Cînd în 1928 Roselo a avut ideea de a asocia ureea cu iodura de sodiu „ca mediu de ghidare“ a fost descoperită calea cea mai fecundă a explorării radiologice urinare.

În anul următor, von Lichtenberg foloseşte la om, pe o scară destul de largă, uroselectanul, creînd urografia I.V. Aceasta este perfecţionată de Coliez şi Bergmann în 1930, care obţin imagini morfologice prin comprimarea ureterelor pe strîmtoarea superioară, în timp ce în 1954, Lebouchard, folosind hialuronidaza, permite urografierea pe cale musculară, atît de preţioasă la nou-născuţi.

Histerografia datoreşte aproape totul lipiodolului, fiind dezvoltată de Portret în 1922 şi apoi de C. Hauser şi Crelli în Argentina. În Franţa, datorită lui R. Ledoux-Lebard, Cl. Béclère, J. Dalsace, Francillon-Lobre, Palmer şi Pulsford, ea devine o metodă practică şi, prin perfecţionarea tehnicii, ei reuşesc să îndepărteze precauţiile greoaie care o complicau.

Explorarea sistemului nervos central, fiind completată de arteriografie, a furnizat rezultate importante cu contraste clare.

Ventriculografia lui Dandy datează din 1918. În 1940, Belloni creează encefalografia. Robertson şi Lindgren îmbunătăţesc prin 1952 toleranţa la această metodă preconizînd encefalografia fracţionată, adoptată de David, Ruggier şi Talairach.

În afară de ventriculografie, contrastele clare aduc şi alte numeroase servicii.

Încă din 1902, Béclère demonstrează posibilitatea studierii parenchimului pulmonar datorită aerului intraalveolar și devine cel mai înfocat propagandist al examenelor colective pentru depistarea tuberculozei. În Elveția, Schinz îl urmează în această direcție. Nu vom reveni asupra examenelor cu dublu contrast ale tubului digestiv. Și dacă pneumo-rinichiul lui Carelli este puțin folosit, dacă pneumo-peritonul a suferit un declin poate nemeritat, dimpotrivă, pneumo-retroperitonul spaniolului R. Rivas, apărut în 1947 și folosit în Franța de L. de Gennes și J.P. May în 1950, arată în mod clar contururile rinichilor și suprarenalelor. În sfîrșit, ginecografia, creată de Goetz și Rautenberg în 1918 și dezvoltată de Coliez în 1919, redevine actuală prin lucrările lui Betoulières, Gros și Verharghe.

După această lungă serie de lucrări, doar traiectele nervoase și țesuturile moi au rămas neexplorate. În cazul primelor, încercările timide ale lui Brunner din 1932 par să nu se fi dezvoltat. Dar pentru cele din urmă, dimpotrivă, îmbunătățirea și reproducerea clișeelor prin modularea electronică reprezintă un progres datorită multiplicării contrastelor ce rezultă.

Totuși, în cursul acestei perioade în care contrastul este elementul esențial, apar trei metode al căror aport reprezintă tot atîtea soluții noi: disocierea imaginilor prin radiografia în secțiuni, amplificarea acestor imagini prin amplificatori de strălucire și multiplicarea imaginilor prin cineradiografie.

Principiul radiografiei în secțiuni se datorește francezului Bocage. Vallebona din Genova aduce în 1930 o primă soluție practică și un șir neîntrerupt de lucrări, iar prin această metodă dobîndește, pe bună dreptate, un renume universal.

Amplificatorul de strălucire provine din lucrările americanului Chamberlain (1942) asupra luminanței. El se bazează pe principiul de a furniza imaginii fluorescente a unui ecran primar o energie suplimentară preluată de la un cîmp electromagnetic fără a micșora gradația diferitelor valori. Janker, din Bonn, realizează în 1950—51 primul film demn de acest nume cu secvențe de cîte 15 secunde, dar sub 105 kV și 200 MA cu prețul unei iradieri într-adevăr prohibitive de 450 r. Lui Porcher și Noix li se datorește obținerea în 1954 a unor rezultate valabile prin folosirea amplificatorului de strălucire.

La mijlocul anului 1945, peste 100 000 de persoane au murit în cîteva clipe din cauza unor iradieri masive (Hiroșima, Nagasaki). Zeci de mii de oameni au rămas infirmi pentru totdeauna, iar urmașii lor sînt marcați de efectele iradierii. Drama a deșteptat conștiința universală. Aceste accidente sînt analoage celor provocate prin iradieri masive cu radiații X sau cu substanțe radioactive. Ele sînt cunoscute; încă din 1897 au fost observate primele radiotermite; în acea perioadă erau atinși cercetătorii și medicii. Astăzi, înmulțirea examenelor radiografice face din ce în ce mai necesară cunoașterea dozelor eliberate în cursul lor, educarea medicilor care folosesc aceste radiații și alegerea metodelor optime folosite în radiodiagnosticare.

Cunoașterea dozelor eliberate a fost mult timp empirică (pastila lui Sabouraud și Noiré, cromoradiometrul lui Kienböck și intensimetrul lui Furstenau, precum și HEB-ul lui Wintz). Prin 1924 lucrările lui Christen, Salomon, Duane, Dauvilliers, Holthusen (primul care s-a preocupat de dozele acumulate în cursul radiodiagnosticării), Jaeger, Glocker, Meyneord, Bragg, Gray, Failla și Quimby au făcut mult pentru dozimetrie. A fost creată o comisie internațională de radioprotecție (C.I.P.R.); în 1928, la Congresul de la Stockholm, ea stabileşte definiţia internaţională a lui r (roentgen). În 1950, la Congresul de la Londra, unitatea r este declarată valabilă pentru radiaţiile ce nu depăşesc energia de 3 MeV, iar în 1953, la Copenhaga este adoptată drept unitate de energie absorbită *rad*-ul. Apar preocupări în legătură cu dozele admisibile individuale, pe care Mutscheller încearcă primul să le stabilească la 0,25 r pe zi, în timp ce Comisia internaţională le reduce în 1950 la 300 mr săptăminal. Apare, de asemenea, preocuparea, de a se compara nocivitatea diverselor examene radiologice.

Se realizează diferite protecţii prin aportul filmelor dentare sensibile la radiaţiile X sau β, prin folosirea minometrului Victoreen, construit în 1947, a stilodozimetrului lui Kelly Ket, a camerelor lui Siebert, preconizate de Maynord în 1948 şi etalonate cu electrometrul Lindeman. În 1949, Massiot construieşte un microdozimetru; în sfîrşit, aparatul I.E. 49 al Comisariatului de energie atomică (Franţa) permite detectarea foarte uşoară a radiaţiilor de fugă în diverse încăperi sau la indivizi contaminaţi.

Dacă aceste cîteva pagini dau o idee asupra drumului glorios parcurs de radiologia medicală şi îi prezintă succesele, trebuie să adăugăm că nici un alt domeniu nu a fost jalonat cu atîţia morţi; sîntem datori să-i evocăm pe medicii care au căzut victime ale acestor radiaţii, ce pot deopotrivă să detecteze, să vindece sau să omoare.

B. ENDOSCOPII

Explorările endoscopice au fost inventate încă în secolul al XIX-lea; primele endoscoape ale lui Desormeaux (1853), folosite la explorarea uretrei, vezicii, vaginului; rectoscopul lui Kelly (1863); laringoscopul inventat de Garcia (1855); oftalmoscopul lui Helmholtz (1851) care permite observarea fundului ochiului. Dar explorările endoscopice s-au dezvoltat într-un mod remarcabil în cursul secolului al XX-lea.

În 1918, Chevalier Jackson inventează bronhoscopul care devine un instrument indispensabil în explorarea bronhopneumologică. Gastroscopul este, fără îndoială, realizat de Kummel în 1868, dar explorarea gastrică nu devine curentă decît după descoperirea aparatului flexibil de către Schindler în 1932. Kussmaul efectuează primele esofagoscopii în 1918 la un înghiţitor de săbii, iar utilizarea esofagoscopului este treptat perfecţionată şi popularizată de Vincent, Gueser, Bensaude, Hasslinger.

Prima laparoscopie a fost efectuată în 1910 de Kelling şi Jacobaeus, urmaţi de Ruddock. Uretro-cistoscopia, folosită deja în cursul secolului al XIX-lea, este perfecţionată prin cistoscoapele lui Bruck şi Nelze, şi prin uretroscoapele lui McCarthy (cu apă şi cu vedere indirectă) şi Nora (fără apă şi cu vedere directă). Fabricarea de aparate endoscopice miniaturizate a făcut ca de endoscopie şi de pielografie să beneficieze copiii de toate vîrstele.

Metodele moderne ale opticii au permis realizarea unor mari progrese în cercetarea căilor strîmte şi profunde. Progresele au fost accentuate de folosirea unor procedee fotografice (gastro-fotografia efectuată pentru prima dată de Porges şi Halpner) iar astăzi, chiar cinematografice.

C. CATETERISME

Încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, tubajele gastrice şi duodenale erau folosite datorită instrumentelor lui Frémont, Faucher, Einhorn. Proba lui Meltzer-Lyon, din cadrul tubajului duodenal, datează din 1919. Detectarea bacilului tuberculos în lichidul recoltat prin tubaj gastric, metodă devenită curentă, a fost preconizată în 1890 de Meunier. Tot de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, urina era recoltată din fiecare bazinet, datorită metodei degetarului (ongletului) care permite dirijarea unei sonde în vezică (Albarran, 1895).

Trebuie, de asemenea, menţionată insuflarea utero-tubară, realizată pentru prima dată în 1929, de McRubin la New York, şi folosită, ca şi histero-salpingografia, în diagnosticul şi tratamentul sterilităţii de origine tubară.

Mult mai tîrziu s-a reuşit recoltarea sîngelui dintr-o cavitate cardiacă. În 1929, W.Forssmann demonstrează pe el însuşi posibilitatea şi inocivitatea cateterismului cardiac la om. El realizează încercarea sa cu ajutorul unor catetere folosite în mod curent în urologie, şi îşi efectuează o radiografie care dovedea că sonda a pătruns efectiv pînă în inimă.

Datorită unor studii amănunţite pe animale, A.Cournand şi D.W.Richards au reuşit în 1941 să pună la punct o tehnică absolut nepericuloasă, introducînd astfel cateterismul cardiac în clinici.

În aceeaşi perioadă, Lenègre, în Franţa, efectuează cateterisme cardiace la cîine şi realizează ulterior măsurări ale presiunilor din cavităţile drepte ale inimii şi arterei pulmonare de la 51 de bolnavi. În această epocă apare o nouă metodă, care permite evidenţierea comunicaţiilor anormale dintre cavităţile cardiace sau dintre vasele mari; măsurarea şi înregistrarea presiunii din interiorul acestor cavităţi; recoltarea probelor de sînge de la diferite nivele şi calculul debitului cardiac prin dozarea gazelor (calcul al cărui principiu a fost enunţat de Fick în 1870); evaluarea lucrului efectuat de diferitele cavităţi cardiace şi a rezistenţei periferice pulmonare sau de sistem. Tot prin această metodă s-a reuşit să se determine suprafaţa unui orificiu valvular, de exemplu orificiul mitral, şi să se stabilească în ce măsură acesta este strîmtat (Gorlin şi Haynes, 1950). A fost, de asemenea, explorată direct şi porţiunea stîngă a inimii, fie prin bronhoscopie şi cateterism direct al auriculului stîng (Facquet şi Lemoine, 1952), fie prin tehnica lui Bjork (1953), care constă în abordarea posterioară transparietală a auriculului stîng.

D. BIOPSII ŞI METODE MICROSCOPICE

Printre endoscopii trebuie incluse şi puncţiile şi biopsiile, devenite posibile datorită metodelor moderne.

Majoritatea cateterismelor uşurează prelevările. Dar organele pline păreau cu totul în afara oricăror posibilităţi de cercetare. Astăzi însă se efectuează curent puncţii ale organelor şi prin examinarea la microscop a fragmentelor de ţesuturi astfel prelevate se obţin informaţii de cea mai mare valoare.

Prima biopsie medulară a fost efectuată de Pianese în 1903; puncţia, după trepanaţie, a măduvei osoase, a tibiei, a crestei iliace şi mai ales a sternului a devenit o metodă curentă, în urma cercetărilor lui Ghedini (1908), Seyfarth (1922), Arinkin (1927).

Puncţia biopsie a ficatului s-a răspîndit datorită lucrărilor lui Silverman (1938), Iverson (1939), Baron (1939). Puncţiile ganglionului, splinei, utilizate iniţial pentru detectarea germenilor, sînt folosite astăzi pentru diagnosticul citologic. Biopsiile testicolului şi ale glandei tiroide au devenit aproape la fel de obişnuite ca şi cele ale pielii. Puncţia biopsie a rinichiului a început, de asemenea, să fie folosită (Iverson şi Brun, 1951). Menţionăm şi progresele realizate prin metoda frotiurilor vaginale (Papanicolau, 1933)[1].

Aceste prelevări au permis deci utilizarea microscopului nu numai pentru investigaţii bacteriologice şi pentru cercetarea elementelor figurate, ci şi pentru studii citologice, efectuate iniţial pe organe prelevate de la cadavre sau în curs de intervenţii chirurgicale, studii extinse astăzi la diagnosticul a numeroase afecţiuni viscerale, hematopoetice, reticulo-endoteliale.

Studiile citologice au beneficiat din plin de progresele obţinute în tehnica microscopică: tehnica contrastului de fază (Zernike, 1938), care permite observarea organitelor celulare în stare vie, şi tehnica microscopică electronică, apărută după 1945, care demonstrează extraordinara complexitate a celulei vii şi permite studiul organizării inframicroscopice a protoplasmei şi a elementelor din care este formată, legînd astfel morfologia de biochimie şi de fiziologie (vezi pag. 613–615).

În sfîrşit, alte tehnici noi au dus la progrese importante în cunoştinţele noastre de citologie: culturi de ţesuturi (Harrison, 1907; Carrel şi Ebeling, 1910); dezvoltarea microchirurgiei (Chambers, 1924) care a permis studiul experimental al protoplasmei vii şi al rolului nucleului; genetica citologică, localizarea genelor în cromozomi; avîntul histochimiei (Policard, Lison, 1918–40); historadiografia (Lacassagne şi Lattès, 1924) care este în plin avînt după descoperirea radioizotopilor artificiali.

E. TEHNICI BIOFIZICE ŞI BIOCHIMICE

În afară de radiologie şi de microscopie, studiile biologice au beneficiat din plin de ajutorul dat explorării de mai multe descoperiri din domeniul ştiinţelor fizice şi chimice.

ELECTROCARDIOGRAFIA. Propusă în 1844 de Matteucci şi folosită pentru prima dată la inima omenească, cu ajutorul unui galvanometru capilar, de către A.D.Waller în 1887, această tehnică a intrat în practica medicală datorită ingeniosului dispozitiv al lui W.Einthoven (1903). Galvanometrul cu coardă al acestuia a permis dezvoltarea electrocardiografiei iar utilizarea acestui aparat rămîne încă în vigoare în numeroase laboratoare. Totuşi, în ultimul timp s-a generalizat folosirea electrocardiografiei cu amplificator, în care uneori se foloseşte, în locul galvanometrului, un tub cu radiaţii catodice.

---

[1] Aurel A. Babeş a publicat în 1928, înainte de G. Papanicolau, un studiu despre principiile şi tehnica citodiagnosticului vaginal în depistarea cancerului colului uterin. Cercetările au fost efectuate în clinica ginecologică de la Spitalul „Colţea" din Bucureşti, condusă de profesorul C. Daniel. — *G.B.*

Datorită electrocardiografiei înţelegem mai bine automatismul cardiac şi sistemul de conducere nervoasă al inimii a cărui cunoaştere datează de la sfîrşitul secolului al XIX-lea şi din primii ani ai secolului al XX-lea. Această metodă a permis obţinerea unor imense progrese, mai ales în studiul deplasării undei contractile care parcurge inima. Cercetările lui Lewis (1925) asupra deflexiei intrinsece, ale lui Goldberger (1942) asupra vectorilor cardiaci; ale lui F. N. Wilson şi colaboratorii (1933—50) privind conceptul de poziţie electrică a inimii, hipertrofiile cavităţilor atriale şi ventriculare, tulburările de conducţie, gradientul ventricular, importanţa diferitelor derivaţii şi în special a derivaţiilor precordiale au permis înţelegerea electrogenezei cardiace şi au dat clinicii ajutorul cel mai direct şi cel mai preţios pentru realizarea unor progrese revoluţionare în cardiologie.

Aceste progrese au permis nu numai precizarea şi identificarea ritmului cardiac şi ale perturbărilor sale, ci, mai ales, detectarea celor mai delicate tulburări ale vascularizării miocardului a cărui importanţă este preponderentă în toate cardiopatiile din cea de-a doua jumătate a vieţii. Studiile vectocardiografice (Mann, 1920; Sulzen şi Duchosal, 1936) încearcă să rezolve problemele încă neelucidate ale electrogenezei cardiace, reunind într-o curbă diferiţii vectori ai activităţii electrice a inimii.

FONOCARDIOGRAFIA. Această tehnică beneficiază, de asemenea, de descoperirile fizicii: zgomotele inimii, suflurile sînt înregistrate pe benzi fonocardiografice prevăzute cu repere cronologice (Einthoven, 1907; Wiggers şi Dean, 1917—19; Duchosal, 1928).

ELECTROENCEFALOGRAFIA. În 1924, Hans Berger, cercetător solitar, considerat a fi un vizionar, a încercat să convingă pe fiziologi de realitatea oscilaţiilor potenţialului pe care îl înregistra în regiunea craniului.

Încă din 1875, Caton a putut înregistra potenţialele creierului; în 1894 Van Markow şi Beck, apoi Gotch şi Horsley au demonstrat că activitatea electrică a cortexului vizual era consecutivă iluminării ochilor; în 1925, Neminski a putut descrie undele cu frecvenţe determinate, pe care le-a numit electrocerebrograme.

Berger este însă cel care a înregistrat în 1924 (lucrări publicate în 1929) primele electroencefalograme prin scalpul unor indivizi cu lacune craniene, iar apoi prin craniu. El a descris ritmul de 8 la 11 cicluri pe secundă, cu predominanţă occipitală, şi reacţia de oprire. Adrian şi Matthews (1934) au confirmat aceste rezultate şi au dovedit că variaţiile de potenţial se datoresc activităţii electrice a cortexului.

Între 1929 şi 1936 se continuă punerea la punct a studiului cortexului cerebral prin electroencefalogramă: perfecţionarea electroencefalogramei la om

(Lindsley, 1936), traseul din timpul somnului (Davis şi Loomis, 1935—1937), condiţionarea EEG (Durup şi Fessard, 1935).

Au fost descrise noi aspecte ale ritmurilor cerebrale: s-au precizat modalităţile reacţiei de oprire; condiţionarea reacţiilor electrice corticale a fost intens studiată de numeroşi autori; variaţiile metabolice au constituit obiectul a numeroase cercetări (Bremer, 1936: efectele anoxiei; Moruzzi, 1938: efectele hipoglicemiei; Leberson şi Straus, 1941: efectele hiperpneei). Studiul epilepsiei a prilejuit, după 1935, numeroase cercetări. Importanţa EEG pentru diagnosticarea tumorilor şi a abceselor creierului (Walter, 1937; Kornmuller, 1936) a fost, de asemenea, pusă în evidenţă în cursul cercetării traumatismelor craniene (Williams, Glaser şi Syaardina, Walter, 1942) şi al afecţiunilor generale şi metabolice.

EEG reprezintă un examen folositor pentru diagnosticul şi pronosticul a numeroase afecţiuni cerebrale. Ea furnizează, dealtminteri, importante date referitoare la modalităţile de funcţionare a sistemului nervos central.

Electrodiagnosticul de stimulare a fost codificat de Pfluger (1920). La om, cronaxia (Lapicque) a fost aplicată de Bourguignon (1924) în studiul nervului, al muşchiului şi al funcţiilor senzitive senzoriale.

ELECTROMIOGRAFIA. Înregistrare şi analiză a variaţiilor potenţialului electric, fie la muşchii întregi (electromiograma globală), fie la elementele lor (unităţi motrice şi fibre musculare), electromiografia a constituit obiectul a numeroase cercetări. Între 1907 şi 1912, H.Piper a realizat primele înregistrări de electromiograme globale. Dar electromiografia nu a cunoscut o adevărată dezvoltare decît în urma izolării activităţii unităţii motrice a lui Sherrington, realizată de Adrian şi Bronk în 1929, datorită acului coaxial care poartă numele ultimului autor.

Unele lucrări ale lui Denny-Brown şi ale lui Lindsley au încercat să abordeze probleme de patologie. Abia între 1940 şi 1945 s-a reuşit în diferite ţări ca, prin aplicarea la patologie a electromiografiei elementare, să se descrie sindromul electromiografic al diverselor afecţiuni.

În 1940, Sexffarth aduce o contribuţie esenţială la studiul comportării unităţii motrice în cursul contracţiei voluntare, folosind în acest scop avantajele oferite de muşchiul atrofic ca urmare a poliomielitei. Numele lui Buchthal şi Clemmesen se leagă de diferenţierea atrofiilor neurogene de cele miogene (1940—41). S. Tower (1938—41), Solandt şi Magladery (1941) descoperă fibrilarea în cursul atrofiei prin denervare. Weddell studiază leziunile traumatice ale nervilor (1943—45). Turpin, Lefevre şi Lerique (1943) descriu activitatea ritmică în cursul tetaniei, iar acest studiu este reluat de Kugelberg în 1948, cu ajutorul garoului ischemic. Bolile musculare au fost studiate de Kugelberg (1949). Lefebvre, Lerique, Desclaux şi Chambelland (1947) au realizat prima analiză a salvei miotonice. Masland şi Wigton (1944), Alajouanine, Lefebvre şi Scherrer (1949) studiază fasciculările şi crampele produse de prostigmină.

Stimularea asociată cu înregistrarea a fost realizată de Harvey şi Masland (1941) în studiul miasteniei şi de Kugelberg şi Skoglund (1946), pentru analiza fenomenelor de acomodare a excitabilității nervoase. Aceste ultime tehnici de stimulare și de detectare sînt folosite acum curent în electromiografia clinică.

TEHNICI AUDIOMETRICE. Probele vocale și diapazoanele au fost înlocuite cu audiometria. Primele audiometre se datoresc lui Seashow (1902) și lui Schwartz (1920). În 1921, Gutmann a construit primul audiometru modern; în 1922, Fowler și Wegel au construit primul audiometru etalonat în decibeli. În 1928, Fowler descoperă recrutarea care permite precizarea localizării leziunilor căilor auditive. În 1941, Dix și Hallpike au imaginat tehnica *peep-show* (a reflexului condiționat) pentru a studia audiția copiilor de la 3 la 7 ani. În 1948, Bordley și Hardy pun la punct metoda reflexului psihogalvanic pentru a determina starea audiției la copii de 1—3 ani.

TEHNICI OFTALMOLOGICE. Pe lîngă oftalmoscopul lui Helmholtz au apărut aparate noi: oftalmoscopul electric cu vedere directă, oftalmoscopul uriaș binocular al lui Gullstrand, biomicroscopul sau lampa cu fantă, care permite realizarea, la nivelul mediilor transparente, a unei adevărate secțiuni optice, și examinarea corneei, a camerei oculare anterioare și a irisului; anumite modele de lentile de contact din material plastic, prevăzute cu o oglindă sau cu o prismă, permit o mai bună utilizare a biomicroscopului. Gonioscopia constă din examinarea camerei oculare anterioare dintre cornee și iris, din spatele limbului, în mod normal vizibilă; alte modele permit efectuarea retinoscopiei cu lampa cu fantă care are dublul avantaj de a furniza senzația de relief și de secțiune optică.

RADIOIZOTOPI. Radioizotopii permit urmărirea metabolismului chiar în organism[1]. Utilizarea lor în biologie datează de la descoperirea radioactivității artificiale (F. Joliot și I. Joliot-Curie, 1934) și de la utilizarea unor puternice surse de radioelemente artificiale. La dispoziția biologilor se află acum mai multe sute de izotopi radioactivi și în special izotopii ai aproape tuturor elementelor care au un rol vital. Actualmente, izotopii sînt folosiți pentru diagnostic și tratament. Cel mai des utilizat este iodul radioactiv, cu care este explorată funcția tiroidiană.

Cu cît o glandă tiroidă secretă o cantitate mai mare de hormon, cu atît fixează mai mult iod, dar cantitățile de iod care intră în joc sînt minime, de ordinul cîtorva zeci de micrograme pe zi, ceea ce făcea imposibilă urmărirea, prin metodele clasice, a deplasării iodului în organism și evaluarea cantității sale. Dacă pacientului i se administrează cantități mari de iod stabil, pentru a face fenomenul vizibil, acesta perturbă funcția tiroidiană și alterează fenomenul, anulînd exactitatea datelor înregistrate. Iodul radioactiv însă permite măsurarea precisă a fracțiunii din iodul injectat care se fixează în tiroidă; sensibilitatea acestor metode este atît de mare, încît permite dozarea unor cantități inferioare miimii de microgram. Folosirea iodului radioactiv reprezintă metoda cea mai sigură pentru a aprecia valoarea funcțională a unei glande tiroide, a determina cantitatea de hormon secretată zilnic, a urmări sinteza și secreția hormonului și a cerceta în ce stadiu al hormonogenezei apare defectul metabolic răspunzător pentru o anumită disfuncție tiroidiană.

---

[1] Vezi și studiul lui A. Ihde (pag. 393—394).

În același mod, se poate studia, cu ajutorul fierului radioactiv, sinteza hemoglobinei și formarea globulelor roșii; cu ajutorul fosforului radioactiv, sinteza fosfolipidelor; cu ajutorul timidinei marcate cu tritiu, sinteza acizilor nucleici. Sodiul radioactiv permite urmărirea mișcărilor ionice prin vase sau membrane celulare și explorarea permeabilității lor; cu ajutorul proteinelor marcate cu iod radioactiv se poate măsura volumul plasmatic pentru a se determina „pool“-ul proteinic al organismului, sau se poate decela existența unei tumori cerebrale; cu crom radioactiv se pot marca hematiile și măsura durata lor.

În acest mod, noua metodă permite măsurarea cantitativă și cinetică a celor mai intime procese metabolice, scoate în evidență spațiile de difuzare, perioadele biologice, „pool“-ul metabolic, capitalurile convertibile, ritmurile și vitezele de reînnoire și ne conduce spre o concepție dinamică despre procesele neîncetate de degradare și de resintetizare.

METODE DE FRACȚIONARE A PROTEINELOR. Migrarea moleculelor proteice sub acțiunea cîmpului electric și aplicarea acestui principiu la studiul sau la separarea diferitelor fracțiuni proteice ale serului au făcut obiectul a numeroase cercetări, după ce, în 1937, A.Tiselius a pus la îndemîna experimentatorilor o aparatură care permite diferențierea calitativă și cantitativă a acestor fracțiuni proteice, creînd electroforeza.

Ca urmare a apariției electroforezei libere sau electroforezei de graniță, s-a realizat o metodă electroforetică pe hîrtie sau electroforeza de zonă (E. L. Durrum, Enenckel, H. D. Cremer și A. Tiselius, 1950), introdusă în R.D.G. și R.F.G. de W. Grassmann și K. Hanning, iar în Franța, de Macheboeuf și Rebeyrotte în 1953; ea permite obținerea, în funcție de coloranții folosiți, a unor proteinograme totale, lipidograme și glicoproteinograme. A apărut apoi electroforeza în geloză, descrisă de Gordon și colaboratorii săi în 1950, imunoelectroforeza lui P. Grabar și Williams (1952), care permite disocierea blocurilor proteice grosolane, electroforeza în gel de amidon (Snithies, 1955), care permite evidențierea diferențelor ereditare ale componentelor serice.

Au mai apărut și alte metode de fracționare a proteinelor, de exemplu, metoda lui Cohn (1946—49), care asigură punerea în evidență a funcțiilor fiziologice ale diferitelor fracțiuni din plasmă, și care permite realizarea unui nou tip de agent terapeutic: derivații plasmatici. Cromatografiile de absorbție, cu schimbători de ioni, de repartiție în coloană sau pe hîrtie, în fază gazoasă sau prin tehnicile radioizotopice, sînt prețioase pentru studiul aminoacizilor serici și urinari și al zaharurilor. Masa moleculară a proteinelor poate fi măsurată prin ultracentrifugare (Svedberg, 1928). Diferite teste (testul floculării, Takata și Ara, 1930, testul cu cefalină colesterol, Hanger, 1939; testul timol, Maclagan, 1944; testul cu sulfat de zinc, Kunkel, 1947; testele lui Gros, Weltmann și Gray) permit o cunoaștere rapidă și sensibilă a anomaliilor serice, dar pun în joc factori multipli.

Studiul proteinelor plasmatice este considerat drept un suport al proprietăților fiziologice sau patologice și este efectuat în mod activ.

În 1935, Quick a descris metoda dozării protrombinei, etapă tehnică esențială în domeniul coagulării, metodă curent folosită sub denumirea de timpul lui Quick. În

1943, Quick a descris metoda care permite studiul consumului de protrombină în sîngele venos, iar în 1947 a aplicat-o la studiul sindroamelor hemoragice. În 1951, Hartiret a pus la punct tromboelastograma, metodă fizică de explorare a coagulării.

Cohn și elevii săi au reușit să izoleze diferitele fracțiuni de globuline și să demonstreze rolul gamaglobulinelor în funcția anticorpilor.

În același timp s-au înmulțit dozările selective pe cale chimică ale diverselor componente definite ale plasmei: glicoproteine, lipoproteine, enzime etc., tehnici care ne conduc în domeniul dozărilor chimice.

DOZĂRILE CHIMICE. Avîntul excepțional al biochimiei — care a cunoscut uimitoarea recoltă de descoperiri privind vitaminele, hormonii, structura enzimelor, oxidările la nivelul celulelor, imunochimia — a permis ridicarea vălului ce acoperea intimitatea fenomenelor fiziologice și a proceselor morbide. Din acest progres decurg trei consecințe fecunde: a) cercetarea biochimică aduce o contribuție capitală la rezolvarea problemelor fiziologice; b) examinarea bolnavului se bazează pe informațiile furnizate de laboratorul de chimie; c) chimistul pune la dispoziția practicianului un arsenal terapeutic de prim plan.

Componentele materiei vii sînt acum mai bine cunoscute în ce privește natura lor, proporțiile ponderale, forma lor și forțele care le mențin asamblate, energia lor de legătură cu apa, ca solvent biologic. Datorită lucrărilor lui Gamble (1936—47), Darrow (1944—50), Dodd (1949), Guest (1950), Mach (1946), se cunosc acum legile generale ale echilibrului hidric și electrolitic, ale echilibrului acido-bazic și ale reglărilor lor respiratoare și renale. Pornind de la aceste noțiuni a apărut chimia medicală a anoxemiei, a acidozelor și a alcalozelor, care a deschis noi capitole de patologie și a permis obținerea remarcabilelor realizări ale tehnicilor moderne de reanimare, precum și multe medicații eficace.

De asemenea, sînt bine cunoscute acum compoziția ionică a organismului omenesc, echilibrul acido-bazic al sîngelui, calitatea și proporția proteinelor, ale lipidelor și glucidelor serice, explorarea fierului seric, natura hemoglobinei, biochimismul ficatului, al tubului digestiv, al oaselor, al mușchilor, al lichidului cefalorahidian, al glandelor endocrine etc.

Biochimia ne-a învățat să cunoaștem și să manipulăm aceste substanțe chimice speciale — vitamine, hormoni, enzime, transportori —, a căror activitate se opune aparentei inerții generale a materialelor de structură, acești biocatalizatori, atît de strîns legați uneori de proteine, care le servesc drept suport și a căror intervenție comandă activitățile vitale și întregul metabolism, reglarea, creșterea, mișcarea și reproducerea sa. Tot biochimia ne permite să cunoaștem rolul fosforilării în fenomenele de oxidare și în transportul energiei.

F. PROBE FUNCȚIONALE

Utilizarea acestor diferite tehnici și procedee fizice și chimice se grupează pentru clinician într-un mănunchi de probe funcționale aplicabile unui organ sau altuia.

FICATUL. Se cunoaşte importanţa dozării protrombinei (Quick, 1935), a proconvertinei (Alexander, 1949), a testelor de floculare pentru aprecierea funcţiilor hepatice.

La acestea se adaugă proba galactozuriei provocate (Deuel, 1932; Fiessinger, 1932), studiul fracţiunilor colesterolului sangvin (Tamahauser), testul hipuricuriei (Quick), testul vitaminei K (Kohler), testele de eliminare a colorantului roz-bengal (Delprat, 1929) şi a bromosulfoftaleinei (Rosenthal şi White, 1925), creşterea transaminazelor glutamică şi oxaloacetică (Wroblewski, 1955; de Ritsis, 1955), dozarea bilirubinei directe şi indirecte prin metoda lui Hijmans van den Bergh (1913). Creşterea bilirubinei directe este un indiciu de retenţie biliară, în timp ce creşterea bilirubinei indirecte reprezintă semnul fie al unei leziuni celulare dobîndite (hepatită congenitală), fie al unei imaturităţi hepatice (icter fiziologic). Studiul funcţional al epurării hepatice cu roz-bengal marcat (Taplin, 1955) furnizează informaţii comparabile cu cele ale bromosulfoftaleinei. Roz-bengalul marcat permite şi un studiu anatomic şi morfologic prin scintilografie (Renauld şi McIntyre, 1957). Această metodă permite diagnosticul tumorilor hepatice (metastaze, abcese, parazitoze). Aurul coloidal radioactiv (Vetter, 1954; Fauvert şi Benhamou, 1957) măsoară *clearance*-ul küpferian sau activitatea de epurare a substanţelor aflate în plasmă, oricare ar fi natura lor chimică.

TIROIDA. Am subliniat importanţa probei de fixare a iodului radioactiv în explorarea funcţiei tiroidiene, probă care o completează sau supleneşte pe cea clasică a măsurării metabolismului bazal (Magnus-Levy, 1895).

Acestor două probe li se adaugă dozarea iodului protidic (Richs şi Salter, 1951), şi a colesterolului din sînge, întîrzierea dezvoltării osoase la copiii mixoedematoşi (Wilkins şi Fleishmann, 1942), disgenezia epifizară la copiii hipotiroidieni (Wilkins, 1941, R.Debré, 1948), răspunsul de fixare a iodului radioactiv la injectarea tireostimulinei (testul lui Querido, 1950).

EXPLORAREA FUNCŢIONALĂ RENALĂ. Importanţa cifrei ureei sanguine a fost pusă în evidenţă de Widal şi Javal (1903—1905). Importanţa cifrei ureei în sînge şi în urină a fost bine subliniată şi de Ambard, care i-a definit constanţa în 1910. Noţiunea de *clearance* (coeficientul de epurare plasmatică) a fost definită de Van Slyke în 1921 şi reluată în 1928 pentru uree de către Möller, Mc Intosh şi Van Slyke.

Măsurarea filtrării glomerulare a fost efectuată iniţial prin utilizarea *clearence*-ului la creatinină exogenă (Rehberg, 1926), la inulină (Shannon, 1935), la manitol (Schmith şi Kinkelstein, 1940). Fluxul plasmatic renal este dat de *clearence*-ul acidului paraminohipuric (Smith, 1945). Proba lui Volhard (1914) permite măsurarea capacităţii rinichiului de a concentra şi de a dilua urina. Demonstrarea reglării acido-bazice de către rinichi a fost efectuată de Pitts în 1950. Aminogeneza a fost pusă în evidenţă de Nash şi Benedict în 1921. Reabsorbţia tubulară a fost studiată: pentru glucoză (Shannon şi Smith, 1935), pentru aminoacizi (Doti, 1941), pentru fosfor (Harrisson, 1941). Numărarea hematiilor eliminate în urină în 24 de ore, stabilită de Addis (1948), este adaptată de Hamburger în 1950 sub forma numărării de hematii-minute. Sînt iniţiate, de asemenea, studii ale perturbaţiilor electrolitice care caracterizează evoluţia nefropatiilor. În sfîrşit, nefrograma izotopică (Taplin și colaboratorii, 1956; Milliez și colaboratorii, 1958) permite studiul valorii separate a fiecăruia dintre cei doi rinichi.

PROBELE FUNCȚIONALE ALE CORTICOSUPRARENALEI. Aceste probe reprezintă una dintre realizările cele mai elocvente ale biochimiei moderne. Ne vom mărgini să le cităm pe cele mai principale.

Dozarea electroliților (sodiu și potasiu) în caz de insuficiență; stigmații electrocardiografici ai creșterii sau scăderii potasiului în ser (Cutler, 1938); testul diurezei provocate (R. Debré și J. Marie, 1938; Robinson și colaboratorii, 1941); dozarea aldosteronului în sînge (Parrel, 1957); explorarea funcției glucocorticoide (testul lui Thorn, 1953); dozarea chimică a glucocorticoidelor: în urină (Porter, Silber, 1950; Glenn și Nelson, 1953; Bongiovanni, 1954) sau în sînge (Nelson și Sammuels, 1952); dozarea 17 cetosteroizilor în urină (Zimmermann și apoi Callow, 1938; Jensen, 1950); dozarea în urină a dehidro-epi-androsteronului, fracțiunea 3, a lui Conn, sau fracțiunea B, a lui Jayle (Drischel, Zilliken, 1943; Patterson, 1947; Allen, 1950); dozarea în sînge (Gardner, 1953; Migeon, 1955); teste dinamice ale funcționării suprarenalei; testul de activare prin A.C.T.H. al eliminării urinare a 17 hidroxicorticoizilor și 17 cetosteroizilor (Thorn, 1953); proba de frînare cu cortizol (Wilkins, 1950; Gardner, 1951); dozarea metaboliților: a pregnanetriolului (Bongiovanni, 1953), a compusului S sau tetra S (Bongiovanni, 1955); proba supraîncărcării cu potasiu (Harrop și Cutler); studiul eliminării apei (testul lui Robinson, Paner și Kepter.)

STUDIUL SÎNGELUI. Și această analiză este de o precizie uimitoare.

Cei trei timpi ai hemostazei — vascular, plachetar și plasmatic — sînt studiați prin teste precise: durata de sîngerare, durata de coagulare, retractilitatea cheagului, semnul lanțetei sau semnul ventuzei, numărarea diferitelor elemente ale sîngelui, anomalia elementelor sîngelui, stabilirea valorii globulare, măsurarea rezistenței globulare, proporția protrombinei, testul toleranței la heparină, măsurarea protrombinei consumate, determinarea anticoagulanților etc. Amintim și utilizarea siliconilor, introdusă de Jaques în 1946, care permite efectuarea de cercetări în domeniul plachetelor și explică rolul contactului în coagulare; ea a făcut, de asemenea, posibilă și realizarea transfuziilor de plachete.

EXPLORAREA FUNCȚIONALĂ OVARIANĂ. Biopsia citohormonală a mucoasei uterine reprezintă procedeul cel mai fidel și cel mai sigur pentru a detecta insuficiențele sau excesele de hormoni genitali. Studiul frotiurilor vaginale a fost deja amintit. Dozarea foliculinei în urină, bazată pe metoda colorimetrică a lui Kobler (1938), perfecționată de Jayle (1948), și dozarea ponderală a pregnandiolului urinar sînt probe interesante, dar delicate.

EXPLORAREA FUNCȚIONALĂ TESTICULARĂ. Dozarea 17 cetosteroizilor urinari este o probă esențială, dar testiculul nu produce decît o treime din această secreție androgenă, celelalte două treimi datorîndu-se corticosuprarenalei. Biopsia testiculară este o explorare de o mare importanță în caz de sterilitate.

La ambele sexe, dozarea gonadostimulinei A în urină (F.S.H.) este de o importanță capitală pentru detectarea originii hipofizare sau gonadice a tulburărilor hormonale.

EXPLORAREA FUNCŢIONALĂ A PARATIROIDELOR. Mai întîi explorarea biochimică: calcemia (McCallum şi Voegtlin, 1909), apreciată după modificările calciului seric total, măsurarea calciului ionizat fiind încă greu de realizat; fosfatemia; modificările calciuriei şi ale fosfaturiei. Probele dinamice se bazează aproape toate pe proprietatea fiziologică a hormonului de a ţine sub dependenţă eliminarea urinară a fosforului prin frînarea în tubul renal a reabsorbţiei fosforului filtrat de glomerul.

Testul introdus în 1934 de Ellsworth-Howard constă în studiul variaţiilor fosfaturiei ca răspuns la injectarea intravenoasă a extractului paratiroidian. El a căpătat importanţă de netăgăduit după izolarea de către Albright în 1942 a „pseudohipoparatiroidismului", în care tulburarea iniţială nu mai este o deficienţă glandulară, ci o lipsă de receptivitate tisulară. Studiul variaţiei constantelor biologice fosfocalcice sanguine şi urinare la injectări repetate de extract paratiroidian (H. E. Harrison, 1956) furnizează, de asemenea, indicaţii interesante.

Urmează apoi explorările electrolitice: măsurarea indicelui galvanotonic, dubletului repetitiv al electromiogramei în tetanie (Turpin, Lefebvre şi Lerique, 1943), anomaliile electroencefalografice în tetanie.

EXPLORAREA FUNCŢIONALĂ PANCREATICĂ. Un anumit număr de probe permit explorarea funcţională a pancreasului endocrin în cursul diabetului zaharat sau al hipoglicemiilor.

Toleranţa la glucoză este apreciată după ingerarea glucozei şi determinarea caracterelor triunghiului hiperglicemiei provocate (M. Labbé şi Nepveux, 1928). Ea mai este studiată şi după administrarea glucozei pe cale venoasă (Crawford, 1938); o toleranţă diminuată constituie indiciul unei proaste funcţionări a pancreasului, iar o toleranţă mărită indică un hiperinsulinism. Proba lui Staub Traugott, care verifică toleranţa la două prize de glucoză la interval de o oră, este bună pentru determinarea unui eventual hiperinsulinism. Proba de toleranţă la insulină a fost codificată de Sendrail, Thayssen şi Radoslav. O toleranţă micşorată indică o hipoglicemie funcţională, în timp ce o toleranţă mărită indică un diabet sau o tumoare insulară pancreatică.

PROBE FUNCŢIONALE RESPIRATORII. Aceste probe au apărut ca urmare a lucrărilor lui Grehant şi Hutchinson, de la începutul secolului, asupra capacităţii pulmonare; ale lui Haldane, Bohr, Barcroft, Y.Henderson, din jurul anului 1910, asupra gazelor din sînge, şi, în sfîrşit, ale lui Hill, din 1925, asupra consumului de oxigen.

Primul aparat valabil folosit este spirograful înregistrator al lui Benedict, care permite efectuarea testelor volumetrice: unele simple (aerul curent, capacitatea vitală, volumul respirator maxim secund al lui Tiffeneau, ventilaţia maximă pe minut, consumul de oxigen) şi altele mai complexe (aerul rezidual, probele la efort, probele farmacodinamice cu acetilcolină şi alendrină, studiul spirometric al plămînilor separaţi). Explorarea funcţională a fost completată recent prin studiul biochimic al hematozei (nivelul de saturaţie oxihemoglobinică, *p*H-ul sîngelui, rezerva alcalină, debitul cardiac, rezultatele cateterismului cavităţilor drepte ale inimii).

G. VIROLOGIE

Studiul virusurilor a cunoscut în cursul primei jumătăţi a secolului al XX-lea progrese considerabile şi a cîştigat astăzi un loc important în medicină. După unii precursori geniali (Jenner, Pasteur), progresele în domeniul virologiei au rămas destul de neînsemnate şi, pînă la începutul secolului al XX-lea, s-a vorbit în continuare despre acele „fiinţe imaginare“ (Pasteur), fără însă ca ele să fie cunoscute. Natura fizică şi chimică a virusurilor a fost studiată prin procedee noi, s-au descoperit tehnici de cultură şi au fost stabilite şi măsurate reacţiile imunologice. În acest fel, datorită virologiei, epidemiologiei, biologiei, numeroase boli virotice sînt astăzi mai bine cunoscute, iar vaccinarea contra unora dintre ele a fost creată sau substanţial revizuită. Doar terapeutica specifică nu a făcut progrese. În cursul expunerii acestor descoperiri este greu să deosebim cercetările biologice, care depăşesc cu mult problemele medicinii umane, de cercetările clinice. Vom examina deci dezvoltarea celor două aspecte[2].

Definirea naturii virusurilor constituie unul dintre cele mai importante obiective ale cercetării şi gîndirii, iar efortul pentru obţinerea lor în stare pură este, din acest punct de vedere, capital. În 1935, W.M.Stanley izolează o proteină cristalizabilă avînd proprietăţile mozaicului tutunului, iar descoperirea lui — şi anume a faptului că o boală specifică se putea obţine prin inocularea unei proteine cristalizabile — a fost confirmată de Bowden şi Pirie (1937). Încercîndu-se prin aceeaşi metodă obţinerea virusului în cazul bolilor animale sau umane, s-a stabilit că o parte a substanţei respective provine chiar din gazdă (virusul influenţei, Knight) şi că virusurile umane sînt constituite nu numai din proteine speciale, ci şi dintr-un înveliş complex format mai cu seamă din acid ribonucleic (Rivers, virusul vaccinal); în sfîrşit, că cele două părţi, proteina şi membrana pot, în anumite condiţii, să se separe.

S-a stabilit (Stanley, 1958) că deşi proteina virusului (mozaicului tutunului) are proprietăţile moleculelor chimice, ea dispune şi de posibilitatea de a se reproduce şi de a se transforma.

Fără a insista aici asupra acestor definiţii ale virusului, legate de problemele frontierelor înseşi ale vieţii, este suficient să arătăm că, din punct de vedere practic, se recunoaşte că virusurile şi rickettsiile se comportă pe de o parte asemănător celorlaţi agenţi infecţioşi, dar au, pe de altă parte, şi o comportare specifică: prin multiplicare endocelulară, ele determină apariţia unor leziuni de tipul incluziunilor, cum sînt corpii lui Negri (în turbare)[3] şi ai lui Guarnieri (în variolă), cunoscuţi de mult timp şi a căror natură virotică a fost stabilită. S-a observat în mod clar că virusurile produc alterări sau proliferări celulare (acţiunea citolitică sau citocinetică, Philibert, 1924; hiperplazie sau necroze, Rivers, 1928) şi că sînt capabile să producă inflamaţii şi toxine.

Imunologia virală s-a dezvoltat în cursul secolului al XX-lea după cum imunologia bacteriană a progresat în secolul al XIX-lea.

---

[2] Vezi şi studiul lui R. Kehl (pag. 623–637).

[3] Victor Babeş a observat şi a descris înaintea lui Negri aceste incluziuni. — *G.B.*

Rezistenţa naturală (specii nesensibile), localizarea tisulară (neurotropismul poliomielitei, dermatotropismul manifestat de molluscum), rolul eredităţii, al alimentelor, fenomenele de imunizare pasivă, de protecţie prin anticorpi şi prin imunitate tisulară, transmiterea de la om la om sau prin intermediul unor gazde animale, fabricarea unor vaccinuri şi eficacitatea lor apropie evoluţia istorică a descoperirilor virologiei de cea a bacteriologiei, care i-a indicat calea.

Progrese importante au putut fi realizate datorită unor descoperiri efective sau unor aplicaţii noi cu caracter tehnic.

METODE FIZICO-CHIMICE. Dacă filtrarea permite izolarea unor virusuri ale vegetalelor (mozaicul tutunului, D. Ivanovski, 1892) şi apoi a celor animale (febra aftoasă, Loeffler şi Froch, 1898), acelaşi procedeu înlesneşte izolarea virusului febrei galbene (Reed, 1901), conţinutul virotic al incluziunilor (Woodruff şi Goodpasture). În studierea virusurilor sînt folosite treptat atît purificarea prin ultracentrifugarea de noi tipuri şi procedeele chimice, cît şi fracţionarea chimică a lor. Electroforeza completează aceste cercetări; se stabilesc dimensiunile virusurilor, în special prin ultrafiltrare (Elford, 1931; Ferlg, 1936). La acest studiu îşi aduc contribuţie analiza proprietăţilor fizice, microscopia electronică, fotochimia, care se asociază microanalizelor, pentru a permite stabilirea unei serii de imagini ce oferă caracterele principale (atît de diferite) ale speciilor virale.

Reacţiile serologice intră în practica curentă de identificare şi determinare a rolului anticorpilor, lucru demonstrat de multă vreme în cazul vaccinei (Steinberg, Béclère) sau al poliomielitei (Netter şi Levaditi).

Ele devin elemente de diagnostic (Olitsky şi Casals, pentru virusul influenţei, 1947; Hammon, 1948; Hunt, 1942; prin folosirea unor tehnici precise de titrare); de asemenea, fixarea complementului după obţinerea de culturi *in vivo*, sau de ţesuturi infectate recoltate la autopsia oamenilor după o imunizare, servind ca antigen (Howill, 1937; de Baer şi Cox, 1947). Tehnica introdusă prin reacţiile nespecifice, aglutinări şi precipitări, iniţiată cu *Rickettsia prowazeki*, este completată prin aglutinarea globulelor roşii de către agenţii virali (reacţia lui Hirst, 1941).

Metodele de cultură pe fiinţe vii şi pe ţesuturi au permis realizarea unor progrese considerabile în domeniul virologiei.

Goodpasture (1943) este iniţiatorul infectării membranei alantoidiene a oului embrionat de pui (variola aviară, vaccina, herpesul), care va fi dezvoltată de F. M. Burnet şi colaboratorii săi, iar apoi de mulţi alţii (Levaditi, Miyakawa etc.); inocularea intracerebrală la şoricelul nou-născut şi mai ales utilizarea mai largă a maimuţelor completează acest arsenal al explorării virologice.

Transformarea metodelor de studiu în virologie se va datora însă mai ales folosirii culturilor de ţesuturi (E. G. Harrison, 1910).

De fapt, se constată că virusurile sînt incapabile să se dezvolte — spre deosebire de bacterii — în exteriorul ţesuturilor vii: S. Seinhard, Israeli şi Lambert (1913), Parker şi Nye (1925) au precedat în această direcţie pe Hallaner, Sanders şi mai ales pe Enders (1950). Cercetările celui din urmă amintesc de cele ale lui Carrel, care, printr-o atare studiere a sarcomului lui Rous, a arătat calea pe care s-a angajat atît virologia, cît şi cancerologia.

O serie de adaptări tehnice de mare valoare au permis realizarea de progrese în acest domeniu, ducînd la o mai bună înţelegere a capacităţii citopatogene, a acţiunii temperaturii (rolul frigului conservator), a variaţiilor de virulenţă, a interferenţelor între diverse virusuri, noţiuni care vor deveni, fără îndoială, de mare importanţă în patologia umană etc. Datorită tuturor acestor constatări şi metode se constituie astăzi şi se perfecţionează zilnic tehnicile destinate diagnosticului virologic al bolilor omului.

CAPITOLUL II
Progrese în cunoaşterea stărilor patologice

Metodele descoperite şi puse la punct în ultima jumătate de secol, dezvoltarea ştiinţelor fizico-chimice, aplicate de medici, şi spiritul de observaţie mereu treaz al clinicienilor au permis realizarea unor progrese excepţionale în cunoaşterea stărilor patologice, ale căror domenii principale le vom expune succesiv.

A. GENETICA

Se poate afirma să studiul bolilor ereditare a prilejuit în ultimii ani cuceriri importante. Desigur că nu de astăzi datează bunul obicei conform căruia observarea fiecărui bolnav este precedată de studiul „antecedentelor sale ereditare“, dar cu totul nouă este tendinţa de a reuni în serviciile de pediatrie genetica şi clinica. Dealtfel, problemele biologice ale geneticii evoluează[1]. Cercetările din ultimii ani au scos în evidenţă şi au permis pătrunderea în intimitatea mecanismului unui anumit număr de boli ereditare şi în special a bolilor ereditare ale metabolismului.

Dacă este adevărat că specificitatea materialului ereditar este legată de dispunerea perechilor de bază în lanţul polinucleotidic al macromoleculei de ADN care constituie cromozomul, mutaţia poate fi concepută ca o „falsificare“ a mesajului codificat care rezultă dintr-o schimbare a ordinii în lanţ.

Există un adevărat hiatus între teoriile recente asupra structurii şi funcţiei materialului ereditar şi concepţiile noastre tradiţionale asupra genei, considerată a fi o particulă indivizibilă. Totuşi, chiar dacă noţiunea de genă ca particulă indivizibilă şi ca unitate ereditară trebuie părăsită la nivelul molecular, ea rămîne valabilă şi comodă la scara observaţiilor noastre.

Dent deosebeşte mai multe varietăţi de boli ereditare ale metabolismului. Blocajele metabolice corespund unei pierderi a activităţii enzimatice prin care se întrerupe un lanţ de reacţii într-un anumit punct. Blocajul se traduce printr-o acumulare a metabolitului situat în acel lanţ în amonte de întrerupere, ceea ce duce la o stocare şi la o eliminare excesivă, sau numai la una dintre ele. Aceste blocaje metabolice sînt cauzate, fără nici o îndoială, de pierderea unei enzime. Faptul a fost demonstrat mai mult sau mai puţin direct într-un anumit număr de cazuri (de exemplu, în glicogenoze). Mai mult încă, patologia umană oferă, în cazul hipofosfatazei, un exemplu unic în care prima anomalie biochimică detectabilă este reprezentată de însăşi absenţa enzimei.

---

[1] Vezi şi studiul lui A. Tétry (pag. 627–722).

Oligofrenia fenilpiruvică, descrisă în 1934 în Norvegia de Folling, este tipul caracteristic al acestor blocaje metabolice de natură genetică. O altă eroare congenitală a metabolismului, galactosemia, descrisă de Reuses (1908) şi Goppert (1917) în blocajul metabolic al transformării galactozei în glucoză, a fost precizată datorită lucrărilor lui Kalckar şi ale colaboratorilor săi (1957). Glicogenozele, descrise de Snapper şi van Creveld (1938), van Gierke (1929), R. Debré (1949), au fost mai bine definite prin utilizarea datelor biochimice şi a metodelor de explorare puse la punct de Meyer, Schoenheimer (1929) şi, mai ales, de C. F. Cori (1954—57).

Anumite boli metabolice sînt consecinţa unor tulburări în transporturile tubulare. Urmările patologice ale acestor deviaţii sînt variabile; uneori extrem de benigne, ca în cazul glicozuriei renale, alteori grave, ca în cazul sindromului Toni-Debré-Fanconi. Dacă acest sindrom este legat cel mai adesea de anomalii congenitale de transport tubular renal, cistinoza, observată pentru prima oară în cursul vieţii unui bolnav de către Freudenberg (1941), este o anomalie ereditară, de natură controversată a metabolismului, leziunile renale fiind secundare supraîncărcării cu cistină.

Pentru Pauling (1954), toate afecţiunile ereditare sînt boli moleculare, în care genele mutante induc formarea unor molecule anormale. Este îndoielnic faptul că totdeauna se întîmplă astfel. În realitate, ştim prea puţin despre natura modificărilor enzimatice din cadrul bolilor metabolismului, şi *a fortiori* despre procesele biochimice ale malformaţiilor şi deficienţelor pentru a accepta o astfel de idee. De aceea, utilizarea ei trebuie rezervată doar afecţiunilor în care se pot detecta efectiv astfel de molecule, ca, de exemplu, în hemoglobinopatii.

Alte boli ereditare ale metabolismului fac obiectul unor noi cercetări, ca diabetul, oxaloza, gargoilismul, diabetul insipid (Biggart, 1937; Forssman, 1942 etc.).

Toate aceste lucrări au permis pătrunderea în intimitatea mecanismului unui anumit număr de boli ereditare, furnizînd noţiunile utile terapeuticii. Un tratament corect şi rapid aplicat poate evita catastrofele de galactosemie, de porfirie, de hipoglicemie şi poate micşora neplăcerile formelor mai puţin grave (mai frecvente decît se crede) ale mucoviscidozelor, ale anumitor tubulopatii şi dezechilibre metabolice constituţionale.

Vom mai semnala şi interesul pe care îl prezintă studiul sexului cromatinian şi cromozomic pentru problemele ridicate de anomaliile de diferenţiere sexuală şi de diferitele tipuri de disgenezii gonadice (sindromul lui Turner, 1938).

Sexul cromatinian a fost descoperit de Barr şi colaboratorii în 1953. În nucleele celulelor feminine există o mare masă de cromozomi bine individualizaţi, ce par a face parte din suprafaţa internă a membranei nucleare. Prezenţa sa defineşte sexul cromatinian feminin, iar absenţa sa, sexul cromatinian masculin. Tehnicile de examinare şi de numărare a cromozomilor au fost perfecţionate recent, permiţînd lui Tjio şi Levan (1956) să demonstreze că omul normal are 46 de cromozomi. Folosind studiul cromozomilor la om în culturi de ţesuturi, R. Turpin a descris 47 de cromozomi în cazul mongolismului. J. Lejeune, R. Turpin şi M. Gautier au demonstrat că înapoierea mintală mongoliană este legată de trizomia cromozomului 21, un prim exemplu de boală genotipică prin aberaţie cromozomică. Sindromul lui Turner şi al lui Klinefelter sînt şi ele legate de aberaţii cromozomice.

B. ANAFILAXIE ŞI ALERGIE

Fenomenul de anafilaxie a fost definit în 1902 de Ch.Richet şi P.Portier.

„O substanţă insuficientă pentru a ucide sau a îmbolnăvi un animal normal determină accidente fulgerătoare şi mortale la un animal care anterior a primit aceeaşi substanţă un timp îndelungat".

Richet considera că substanţa anafilactogenă trebuie să fie toxică, că organismul posedă un mecanism de protecţie împotriva acestei toxicităţi şi că prima injectare provoacă înlăturarea acestei protecţii, de unde şi denumirea de anafilaxie.

Arthus (1903) demonstrează că anafilaxia poate fi provocată şi de o substanţă lipsită de toxicitate, cum ar fi serul de cal, şi că, în anumite condiţii, reacţia anafilactică poate să nu fie generalizată, ci localizată la punctul de injectare a substanţei, sub forma unei escare. Rosenau şi Anderson (1906), în Statele Unite, şi Otto (1905), în Germania, au demonstrat că fenomenul de anafilaxie este cu totul diferit de formarea antitoxinelor, că injectarea repetată a unor mici doze de antigen provoacă o stare refractară, că sensibilizarea poate fi transferată *in utero* de la mamă la copil şi că substanţele alergene pot fi de diverse origini: animală, vegetală, bacteriană.

În legătură cu studiile sale asupra tuberculinei şi cu descoperirea reacţiei cutanate tuberculinice, Von Pirquet (1906) a creat termenul de alergie atribuindu-i în mod intenţionat un sens foarte larg. Prima manifestare alergică recunoscută ca atare a fost şocul anafilactic ce urmează administrării terapeutice a unor antitoxine sau seruri. Pînă în 1920—25 se întinde o primă perioadă, în care o mare varietate de manifestări erau puse în legătură, rînd pe rînd, cu anafilaxia şi în care domeniul clinic al alergiei a fost definit.

În 1905, C. P. Pirquet şi B. Schick interpretează în acest mod boala serică; în 1906, Wolff-Eisner demonstrează originea alergică a guturaiului de fîn. Noon şi Freeman (1910) reuşesc să realizeze primele tratamente de desensibilizare cu polenuri, inspirîndu-se din rezultatele experimentale ale lui Besredka asupra antianafilaxiei.

După constatatea lui Auer şi Lewis (1910) că leziunea cea mai importantă în anafilaxia la cobai este bronhospasmul, Meltzer a sugerat că, prin analogie, astmul bronhic ar putea fi o afecţiune anafilactică. M. Nicolle (1907) realizează transmiterea pasivă a anafilaxiei, fenomen care va fi folosit ulterior ca procedeu de investigaţie clinică de către Prausnitz şi Kustner. J. Jadassohn include în cadrul alergiei intoleranţele medicamentoase, pentru care Landsteiner stabilește noțiunea de hapten. Hutinel, Doerr, Barbier, Schloss comunică primele cazuri de alergie alimentară (1908—1910).

În următorii 25 de ani, eforturile sînt îndreptate spre identificarea alergenilor, ameliorarea procedeelor de preparare a extraselor. perfecționarea utilizării acestora pentru diagnosticul și tratamentul stărilor alergice.

Storm van Leeuwen (1925) demonstrează importanța sporilor de mucegaiuri, iar Cooke (1921), pe cea a alergenului reprezentat de praful din casă. În toate țările s-au efectuat studii pentru a preciza repartiția geografică și sezonieră a pneumalergenelor (Woringer, polen și mucegai) și rolul trofalergenelor.

În sfîrșit, în perioada a treia, cercetările fiziologilor au avut ca scop descoperirea mecanismelor tisulare și umorale ale alergiei.

Ele au scos în evidență rolul mediatorilor chimici, ca acetilcolina (Danielopolu)[2] și histamina (H. Dale), au relevat acțiunea antihistaminică a anumitor substanțe (D. Bovet, 1938, și Halpern) și au sugerat că absența anumitor proprietăți ale plasmei la persoanele alergice (capacitatea de protecție, Benda; sau histaminopexică, J. L. Parrot, 1951) joacă un rol important.

Confruntarea acestor probleme cu cele ridicate de incompatibilitățile sanguine și de grefele de țesuturi deschide perspectiva unor progrese importante.

C. VITAMINE

Termenul de vitamină a fost creat în 1912 de C.Funk, care a extras din tărîțele de orez o substanță capabilă să vindece, chiar în doze minime, polinevrita aviară experimentală. Progresele realizate în cunoașterea vitaminelor se datorează lucrărilor a două tipuri de cercetători: în primul rînd, medicii, care căutau mijloacele de a vindeca o serie de boli grave cunoscute de mai mult timp (de exemplu, scorbutul, beriberi) și, în al doilea rînd, experimentatorii, care doreau să cunoască natura și numărul substanțelor necesare vieții[3].
De fapt, în perioada de după Funk, chimia a intervenit în mod strălucit în domeniul vitaminelor; peste 30 dintre acestea au fost descoperite, iar formula lor a fost elucidată; sinteza multora dintre ele a fost realizată. Multe vitamine nu mai sînt utilizate astăzi doar în lupta împotriva stărilor carențiale (deși carențele nu apar în mod excepțional în țările slab dezvoltate, ci se observă și în cele avansate, la copii, ca urmare a unor erori alimentare datorite ignoranței), și mai ades în calitate de agent farmacodinamic. Industria fabrică în mari cantități tiamina sau vitamina B_1, riboflavina sau vitamina B_2, acidul nicotinic sau vitamina PP, acidul ascorbic sau vitamina C.

---

[2] Pornind de la aceste cercetări, Daniel Danielopolu a elaborat o amplă și originală teorie privind echilibrarea funcțională a organismului, bazată pe două mecanisme: cel al antagonismului interstimulant și cel circular amfotrop. — *G.B.*

[3] Originea cercetărilor asupra vitaminelor este expusă în studiul lui A. Ihde (pag. 435—437).

VITAMINA A. Hemeralopia şi xeroftalmia, descrise de McKinsie în 1957, sînt cunoscute de mult timp. Relaţiile dintre aceste tulburări oculare şi avitaminoza A au fost puse în evidenţă la începutul secolului nostru. În 1904, în Japonia, Mori descrie sub denumirea de hikan o serie de tulburări asemănătoare, întîlnite în colectivităţile de copii care nu primeau lapte.

În 1913, E. V. McCollum şi M. Davis, Th. B. Osborne şi L. B. Mendel pun în evidenţă un factor liposolubil sau factorul A, conţinut în unt. Factorul A vindecă avitaminoza experimentală, analoagă cu cea de la om, realizată la cobai. Formula acestei vitamine a fost precizată între 1931 şi 1933, de Karrer, care a denumit-o axeroftol. Sinteza ei a fost realizată în 1937 de Karrer, Kuhn şi Morris. Vitamina A se găseşte în mare cantitate în untura de ficat de morun şi de cambulă, precum şi în unt.

Josephs, în 1944, şi Caffey, în 1950, au descris o hipervitaminoză A cronică, ce se exprimă printr-o hiperostoză. O hipervitaminoză A acută, care se traduce printr-o hipertensiune intracraniană, cu bombarea fontanelei, a fost descrisă la sugari de J. Marie şi G. Sée, în 1955.

VITAMINA D. Rahitismul banal al copilului era cunoscut de mult timp. Se ştia, de asemenea, că el poate fi vindecat sau prevenit, iar Bretonneau l-a pus în evidenţă în secolul trecut, prin administrarea de untură de peşte.

Cîţiva ani în şir, prevenirea lui a fost — incorect — asociată cu acţiunea vitaminei A. Dar în 1919, A.Mellanby a constatat că rahitismul poate fi produs experimental la cîini tineri supuşi unui regim abundent în vitamina A. Treptat, s-a constatat că rahitismul este o boală de carenţă determinată de insuficienţa în calciu, în fosfor şi într-o substanţă specială, complementară. În 1924, A.Hess şi H.Steenbock au demonstrat că iradierea alimentelor cu radiaţii ultraviolete împiedică apariţia rahitismului experimental şi că acţiunea radiaţiilor ultraviolete solare permite organismului să sintetizeze o substanţă antirahitică, vitamina D.

Windaus şi Bourdillon (1931) au obţinut prin iradierea ergosterolului (sterol extras de Ch. Tanret din tăciunele secarei) o substanţă cristalizată foarte activă în avitaminoză. În 1936, Brockman extrage vitamina D naturală (vitamina D$_1$) din uleiul de ficat de cambulă şi de ton. Windaus şi Sinsert, Bourdillon şi Askew izolează vitamina D$_2$ sau calciferolul, obţinut prin iradierea la întuneric cu o lampă cu mercur a ergosterolului care joacă rolul de provitamină. În 1932, Windaus stabileşte formula vitaminei D$_3$ (dehidro-7,8-colesterol), o substanţă naturală liposolubilă, prezentă — fără o iradiere prealabilă — în uleiurile extrase din ficatul anumitor peşti.

Aceste cercetări au permis tratarea eficace, curativă şi preventivă, a rahitismului banal al sugarului. În 1946, R.Debré şi colaboratorii săi au studiat accidentele datorite hipervitaminozei D.

VITAMINA E. Vitamina E liposolubilă a fost izolată datorită cercetărilor specialiştilor nutriţionişti. În 1919, Osborne şi Mendel descriu tulburările funcţiei de reproducere la şoareci supuşi anumitor regimuri alimentare artificiale. Între 1922 şi 1925, H.M.Evans şi Burr reproduc aceste experienţe şi atribuie tulburările respective lipsei unei substanţe specifice liposolubile, denumită vitamina E.

Aceasta este izolată în 1936 de Evans şi Emerson. Structura sa a fost stabilită de E. Fernholz, în timp ce P. Karrer i-a precizat cele trei formule chimice: alfa, beta, gama tocoferol (1936), şi a sintetizat-o (1938). Mai ales seminţele de grîu şi de porumb, precum şi majoritatea grăsimilor sînt bogate în vitamina E. Se crede că avitaminoza spontană ar fi o cauză de sterilitate în anumite ţări (Nogue, Adam, 1922). Tot ea pare a fi răspunzătoare şi pentru unele avorturi.

VITAMINA K. Etapele descoperirii vitaminei K sînt următoarele: în 1929, fiziologul danez Henrik Dam observă hemoragii la pui de găină foarte tineri supuşi unui regim lipsit de grăsimi. Constatînd o întîrziere a coagulării sanguine, el o previne prin administrarea unei anumite substanţe liposolubile, pe care o denumeşte vitamina K *(koagulation vitamin)*. În 1939, Karrer izolează vitamina K_1 din frunze de lucernă, iar Doisy extrage vitamina K_2 din făina de peşte putred.

Ea se găseşte în mare cantitate atît în legumele verzi (spanac, varză, roşii, soia), cît şi în ficatul de porc. În 1939, Karrer, Almquist, Doisy etc. îi stabilesc formula în care nucleul comun este 12 metil 1—4 naftachinona[4]. Activitatea vitaminică K este condiţionată de sinteza realizată de bacteriile intestinale. Rolul său este esenţial în coagulare, fiind indispensabilă sintetizării protrombinei în ficat. Avitaminoza K este însoţită de tulburări hemoragice în cursul icterelor prin retenţie şi ea pare a fi răspunzătoare de boala hemoragică a nou-născutului.

O antivitamină K, denumită cumarin sau dicumarin, a fost izolată în 1941 de Stahmann, Link etc. din trifoi; ingerarea ei provoacă tulburări hemoragice la vaci.

GRUPUL VITAMINELOR B. Avitaminoza B_1 este răspunzătoare de boala beriberi însoţită de edem şi de paralizia membrelor inferioare. Faptul acesta era cunoscut din lucrările lui Takaki şi Eijkman, de la sfîrşitul secolului al XIX-lea. În 1911, Funk a izolat din tărîţe de orez o substanţă cristalizată care vindeca, în doze minime, polinevrita experimentală („vitamina B hidrosolubilă" a lui McCollum, 1915). Dar activitatea acestei substanţe s-a dovedit a fi, în realitate, foarte complexă, iar variatele ei proprietăţi demonstrează că este vorba de un amestec de mai mulţi compuşi cu activităţi diferite.

Substanţa activă pentru prevenirea bolii beriberi a fost izolată pentru prima dată de Jansen şi Donath (1926); formula ei a fost stabilită, în 1931, de R. R. Williams şi R. Windaus: ea este formată din asocierea unui nucleu tiazol şi a unui ciclu pirimidinic, de unde provine denumirea sa de tiamină. Sinteza ei a fost realizată în 1936 de Williams şi de Westphal şi Andersag. Este cunoscută larga utilizare terapeutică a vitaminei B_1, în special împotriva polinevritelor.

Avitaminoza B_2 apare în mod excepţional, în afară de formele fruste. Descoperirea ei a fost posibilă datorită cercetărilor specialiştilor nutriţionişti.

În 1879, Blyth izolează din lapte un pigment galben pe care îl denumeşte riboflavină. În 1927, Randouin şi Simonnet descoperă în grupul B, alături de vitamina B_1 antipolinevritică, un factor B_2, ale cărui formulă şi sinteză sînt realizate în 1934 de Kuhn şi Karrer; acest factor, care s-a dovedit a fi identic cu riboflavina, vindecă pelagra cobailor.

---

[4] Vitamina K_1 este folosită sub formă de injecţii intravenoase, intramusculare sau pe cale orală. Au fost realizate apoi şi vitamine sintetice, dintre care cea mai frecvent utilizată este vitamina K_4.

Drojdia de bere, carnea, brînza, laptele, uleiurile sînt alimente bogate în vitamina B_2, a cărei sinteză nu poate fi efectuată de organismul nostru. Primele observaţii în legătură cu avitaminoza B_2 se datoresc lui Sebrell şi Sydenstricker (1935). Aceasta provoacă leziuni ale comisurilor labiale, cheratită, precum şi o dermatită seboreică. Vitamina B_2 intră în compoziţia fermentului galben al lui Warburg şi joacă un rol important în oxidările biologice.

Descoperirea vitaminei B_6 a fost anterioară descrierii avitaminozei respective. Ea a fost izolată în 1934 de Smith şi Szent-Györgyi, în urma cercetărilor lor asupra acrodiniei la şoareci.

Formula ei chimică a fost stabilită în 1938, de Keresztezy şi Kuhn: ea este piridoxina, a cărei sinteză a fost realizată în 1939 de Arris şi Kuhn. Brînza, ficatul, laptele, drojdia de bere sînt bogate în vitamina B_6.

În timp ce avitaminoza experimentală, acrodinia şoarecelui, era cunoscută de mult timp, la om avitaminoza a fost descrisă abia în 1953 de Sinjderman: ea este însoţită de convulsii ale sugarilor care sînt hrăniţi cu lapte din care lipseşte vitamina B_6. Crize piridoxino-sensibile au fost descrise la nou-născuţi şi la sugari de Hunt (1954), Bessey (1957) şi J. Marie (1959). Acestea au fost interpretate ca fiind tulburări ale metabolismului vitaminei B_6; anumite tulburări metabolice observate uneori la adulţii trataţi cu doze mari şi prelungite de izoniazidă au, probabil, şi ele aceeaşi cauză.

Avitaminoza PP dă pelagra, caracterizată prin leziuni cutanate (eriteme), tulburări digestive şi tulburări psihice. Ea a fost cunoscută de mult timp, în Europa apărînd după importarea porumbului.

Între 1915 şi 1925, Goldberger a arătat că pelagra are o origine carenţială, a stabilit lista alimentelor care permit evitarea ei şi a izolat produsul activ pe care l-a denumit vitamina PP (pelagro-preventivă) sau vitamina B_3.

Cercetările lui Goldberger, Szent-Györgyi (1937), Randouin şi Simonnet (1938) au dus la obţinerea formulei chimice şi la realizarea sintezei vitaminei PP, o amidă a acidului nicotinic, care intervine în numeroase sisteme enzimatice. Drojdia de bere şi ficatul sînt deosebit de bogate în vitamina PP. Relaţia dintre avitaminoza PP şi porfirinuria congenitală sau boala lui Gunther sînt încă insuficient precizate. Se ştie însă că activitatea vitaminei PP este antrenată de anumite sulfamide, ceea ce a impus utilizarea acestei vitamine în cursul tratamentelor cu sulfamide.

Pînă în 1920, cauza anemiei pernicioase (boala lui Biermer) nu era cunoscută şi evoluţia ei era fatală. Ulterior, G.H.Whipple a descoperit acţiunea eficace a ficatului de viţel, în urma studiilor în legătură cu valoarea comparativă a diverselor substanţe alimentare pentru regenerarea anemiei experimentale provocate la cîine prin sîngerări repetate.

În 1926, G. R. Minot şi W. P. Murphy au pus pentru prima oară în evidenţă la om marea valoare a ficatului de viţel ca tratament al anemiei pernicioase, ceea ce le-a sugerat ideea că această anemie este o boală de carenţă, cauzată de absenţa unui principiu conţinut în ficatul proaspăt. Cohn reuşeşte apoi să obţină extracte hepatice buvabile, iar apoi injectabile, de o mare eficacitate. Acidul folic, a cărui sinteză a fost realizată în 1946 de R. G. Angier, dă rezultate interesante în combaterea bolii, astfel că o vreme s-a crezut că această substanţă reprezintă adevăratul principiu antipernicios. În 1947, Mary Shorb izolează din extractul de ficat un principiu necesar dezvoltării culturilor de *Lactobacillus lactis*, avînd şi o activitate antipernicioasă. În 1948, E. L. Rickes şi N. G. Brink, de la New Jersey, purifică această substanţă, pe care o cristalizează apoi sub forma unor ace roşii. În acelaşi an, E. L. Smith şi Parker o descoperă şi ei în Anglia. Structura acestei vitamine B_{12}, sau ciancobalamină, a fost elucidată în 1955, în laboratoarele lui Alexander Todd (Cambridge) şi ale lui Carl Folkers (S.U.A.), în urma studiilor realizate cu radiaţii X de D. C. Hodgkin şi K. N. Truelblood. Este vorba de un compus porfirinic foarte complex, care conţine un atom de cobalt ($C_{69}H_{90}O_{19}N_{14}PCo$).

Vitamina B_{12}, indispensabilă maturării hematiilor, repară tulburările sanguine din anemia lui Biermer, precum și tulburările digestive și nervoase care o însoțesc, deoarece ea este un agent al metabolismului mielinei. Introdusă în organism în special prin alimentarea carnată, ea trebuie să fie completată la trecerea prin stomac cu un principiu intrinsec, o mucoproteină secretată de celulele mucoide ale coletului glandelor gastrice, principiu care lipsește la bolnavii biermerieni.

Această condiţie odată îndeplinită, factorul amintit este absorbit la nivelul tubului digestiv şi înmagazinat în ficat. Substanţa dă rezultate remarcabile împotriva anemiei lui Biermer, cu condiţia ca administrarea ei să se facă în doze suficiente şi să fie continuată indefinit. Datorită descoperirii lui M. Shorb, fabricarea industrială a vitaminei B_{12} este realizată la ora actuală pornind de la culturi de *Streptomices griseus*.

Acidul paraaminobenzoic (P.A.B.) a fost descoperit de McIntosh și Wihtzby (1939) și izolat în același an din drojdia de bere (Rubbo și Gillespie).

Structura acestui acid se apropie de cea a sulfamidelor. În realitate, este vorba de izosterul acidului paraaminofenilsulfamid, ceea ce explică modul de acţiune al sulfamidelor. De fapt, radicalul sulfamidă înlocuieşte P.A.B.-ul, lipsind astfel bacteriile de această enzimă indispensabilă creşterii lor. Rolul esenţial al P.A.B.-ului constă în condiţionarea creşterii microorganismelor.

Alte substanțe din grupul vitaminelor B au fost identificate în gălbenușul de ou, în ficat și în diverse alte alimente cu mare valoare nutritivă. În acest fel au fost izolate biotina (B_8), acidul pantogenic (B_5) și acidul pteroic și au fost identificate funcțiile lor fiziologice.

VITAMINELE C ȘI P. Se știa de mult timp că scorbutul, o boală tot atît de veche ca și civilizația umană, este o afecțiune carențială, iar în secolul trecut s-a demonstrat pe scară largă eficacitatea portocalelor și a lămîilor împotriva scorbutului. Studiul experimental efectuat pe cobai a confirmat aceasta, dar izolarea substanței active conținută în fructele amintite s-a dovedit foarte dificilă, datorită instabilității ei în prezența alcalinelor și a factorilor oxidanți. În 1929 diferiți cercetători au obținut totuși un concentrat foarte activ, denumit vitamina C. După ce a fost preparat pe bază de suprarenale, A.Szent-Györgyi a dovedit că ardeiul verde unguresc constituie o sursă foarte bogată în această vitamină. Importantele progrese realizate în studiul zaharurilor au permis, începînd din 1933, lui Hirst, Haworth, Karrer şi Reichstein să stabilească formula şi să realizeze sinteza acestui compus, căruia Szent-Györgyi şi Haworth i-au dat denumirea de acid ascorbic.

În 1936, Szent-Györgyi a descoperit în extrasul de lămîie, pe lîngă vitamina C, un factor cu acţiune antihemoragică, pe care l-a numit vitamina P, factorul de permeabilitate vasculară sau vitamina antihemoragică şi pe care Lavoley l-a identificat cu epicatehina (1940). Această vitamină, conţinută mai ales în citrice, este folosită împotriva scorbutului şi a anumitor sindroame hemoragice. Amintim că scorbutul se întîlneşte şi în Franţa la sugarii hrăniţi exclusiv cu lapte sterilizat şi cu făinoase şi care prezintă hemoragii şi leziuni osoase.

D. ENDOCRINOLOGIE

Nu vom reveni nici asupra originilor endocrinologiei, nici asupra tendinţelor generale ale dezvoltării ei[5]. Istoricul endocrinologiei reprezintă unul dintre exemplele cele mai evidente ale progresului comun al clinicii şi chimiei biologice; departe de a se fi încheiat, el se îmbogăţeşte în fiecare zi cu descoperiri noi. Expunerea noastră se va referi în special la implicaţiile medicale şi va prezenta succesiv hormonii secretaţi de diferitele glande endocrine.

Unele glande nu sînt controlate de alte glande (pancreasul, paratiroidele, medulosuprarenalele); dimpotrivă, hipofiza anterioară stimulează tiroida, gonadele, suprarenalele. Cu hipofiza posterioară se deschide vastul domeniu al hormonilor de origine nervoasă, dintre care unii controlează probabil antehipofiza.

INSULINA, HORMONUL PANCREASULUI. Von Mering şi Minkowski (1889) au provocat diabetul la cîini, extirpîndu-le pancreasul. În aceeaşi perioadă s-a atribuit o funcţie endocrină „insulelor“ lui Langerhans, răspîndite în glandă, iar hormonului ipotetic i s-a dat denumirea de insulină în 1909 de către J.de.Meyer. Diverse extracte se vor dovedi însă de o eficacitate îndoielnică. F.C. Banting şi Ch.Best (1921), J.J.R.Macleod reuşesc să prepare, printr-o metodă foarte asemănătoare cu cea nepublicată a lui E. Gley (1905), un extract de pancreas de cîine, care coboară glicemia cîinelui fără pancreas[6]. Din 1922, ei tratează diabeticii umani cu o insulină prelevată de la bovine, această descoperire revoluţionînd evoluţia şi tratamentul diabetului.

---

[5] Vezi şi studiul lui R. Kehl (pag. 648—655), care analizează şi aspectele biochimice şi fiziologice ale activităţii endocrine.

[6] Cu un an înaintea publicării lucrărilor savanţilor canadieni, profesorul Nicolae Paulescu, titularul catedrei de fiziologie de la Facultatea de medicină din Bucureşti, a preparat un extract pancreatic cu care a obţinut constant efecte hipoglicemiante la animale. Articolul tipărit cu acest prilej de Paulescu figurează în bibliografia primei lucrări despre patogenia şi tratamentul diabetului, a lui Banting şi Best. — *G.B.*

Preparatele cu insulină au fost apoi perfecţionate (J.J. Abel, 1926). Hagedorn (1936) şi alţii au preparat diverse insuline, remarcabile prin activitatea lor prelungită (insulina protamină-zinc.). F. Sanger (1953) a reuşit să stabilească formula acestei macromolecule proteice.

Insulina permite utilizarea glucozei care circulă în concentraţie mică, precum şi înmagazinarea glicogenului în ficat şi muşchi. Suprarenalectomia şi hipofizectomia (şcolile lui B. Houssay şi C. Long, 1935—40) măresc efectul hipoglicemiant, care poate fi eventual periculos. Extractele suprarenale (Long) sau hipofizare (Young, 1937) contracarează acest efect, ceea ce sugerează faptul că pancreasul nu explică pe deplin diabetul comun, care este o boală ereditară. Insulinoterapia, care permite ca milioane de fiinţe umane să trăiască şi să procreeze, favorizează răspîndirea foarte mare, de pe acum a genei respective.

Cercetările lui Soskin (1930—52) şi Levin (1950), Mann şi Magath (1903—27), Young, Forsell, Lichtenstein (1935—50), Guest (1947—57) asupra neoglicogenezei şi metabolismului enzimatic intracelular au făcut ca diabetul să fie considerat drept o insuficienţă endocrină ce trebuie tratată doar prin hormonoterapie substitutivă, adaptată cu cea mai mare supleţe.

Din 1922 (Mac Leod) se ştia că anumite insuline, administrate pe cale intravenoasă, măresc temporar glicemia; astăzi este considerat responsabil de acest lucru glucagonul, hormonul secretat de celulele alfa ale insulelor lui Langerhans (insulina este secretată de celulele beta), care mobilizează glicogenul hepatic (Burger şi Grandt, 1935; Sutherland şi Cori; Ferber şi de Duve, 1953).

HORMONUL PARATIROIDIAN. Acest hormon (numit şi parathormon) este secretat de minusculele glande juxtatiroidiene descrise de Sandström (1880). Extirparea lor duce la o tetanie fatală (Gley, 1893—1910), atribuită de W.G. MacCallum şi C.Voegtlin (1909) unei scăderi a calciului sanguin. Parathormonul a fost extras de J.B.Collip (1925). Avînd o structură neelucidată încă, el reglează probabil în mod direct metabolismul fosfocalcic al oaselor; acţionează în mod sigur asupra rinichilor, unde favorizează excreţia de fosfaţi (Albright) a căror scădere în sînge duce la o creştere a calcemiei.

Decalcifierea din osteita fibroasă a lui Recklinghausen (1891) este atribuită de M. Askanasy (1904) şi Schlagenhaufer (1915) unei tumori paratiroidiene care secretă prea mulţi hormoni, ceea ce a fost confirmat chirurgical şi de Mandl (1925). Insuficienţa acestui hormon provoacă tetanie, fără însă ca ea să fie singura cauză a tetaniilor. Hormonul paratiroidian nu este folosit decît pentru explorarea valorii glandei sau a metabolismului fosfocalcic. Pentru tratament i se preferă fie vitamina D_2, fie derivatul său, dehidrotachisterolul (A.T.10).

ADRENALINA, HORMONUL MEDULOSUPRARENAL. Deşi moartea care survine după suprarenalectomie (Brown-Séquard, 1856) poate fi atribuită extirpării zonei externe, corticale, medulosuprarenala a fost mult timp mai bine studiată şi cunoscută decît cortexul.

Oliver şi Sharpey-Schäfer (1895) subliniază efectul hipertensiv al extractului, al cărui principiu activ este cristalizat în 1901 de Th. B.Aldrich şi J. Takamine; aceştia îl denumesc adrenalină. Prima sinteză a unui hormon a fost realizată (F. Stolz, 1904) înaintea cunoaşterii formulei sale exacte (Friedmann, 1906).

În doze moderate, adrenalina contractă majoritatea arteriolelor şi capilarelor, producînd hipertensiune, dar ea le dilată pe cele din muşchii striaţi, a căror oboseală o combate; efectele diferă la nivelul muşchilor netezi. Mobilizînd glicogenul din ficat şi din muşchi, ea măreşte glicemia, ceea ce permite un consum tisular crescut de glucoză; măreşte numărul de hematii circulante, accelerează coagularea şi dilată bronhiolele; de asemenea, menţine la nivelul anumitor structuri cerebrale o stare de veghe bazală (Dele, 1954—58). În final, hormonul măreşte mijloacele organismului de a face faţă unei agresiuni; în acest caz, el este secretat (W. B. Cannon, 1911—33) prin intrarea în joc a sistemului nervos, a cărui acţiune de reglare este foarte complexă.

Lui Cannon îi revine şi meritul de a fi dovedit că în absenţa suprarenalelor prin excitarea sistemului simpatic se eliberează încă o substanţă asemănătoare cu adrenalina, denumită simpatina E, sau noradrenalina (1931). Această substanţă este secretată la aşa-numitele terminaţii adrenergice ale sistemului simpatic, care au aceeaşi origine embriologică ca şi medulosuprarenala. Progresele recente ale fiziologiei medulosuprarenalei contribuie la integrarea completă a acestei glande în sistemul ortosimpatic (Malmejac, 1959), fără a se renunţa la noţiunea unei secreţii de bază a adrenalinei (Tournade şi Chabrol, 1923). Anumite tumori ale glandei cauzează o hipertensiune paroxistică (F. Fränkel, 1886) sau permanentă, ameliorată prin extirparea glandei (Mayot, 1927).

HORMONII LOBULUI ANTERIOR AL HIPOFIZEI. La sfîrşitul secolului al XIX-lea, nanismul şi infantilismul au fost puse în legătură cu distrugerea hipofizei (Lovani, 1871); Evdheim, 1916), acromegalia, cu anumite tumori (P. Marie, 1886), iar unele caşexii grave, cu leziunile grave ale glandei (Simmonds, 1914).

Primele extirpări efectuate la mamifere (Paulescu, 1908; Cushing, Camus şi Roussy, 1920) nu au permis o apreciere exactă a deficitului. Evans (1921) constată că lobul anterior al glandei fabrică un hormon de creştere. P. E. Smith va dovedi apoi că extirparea ei opreşte creşterea, ducînd şi la atrofierea gonadelor, tiroidei şi cortexului suprarenal. Extractele de lob anterior provoacă gigantismul.

Courrier (1924) stabileşte că, în cazul tiroidei, există un echilibru între ceea ce secretă fiecare glandă şi secreţia stimulinei hipofizare corespunzătoare.

Zeci de hormoni diferiţi au fost atribuiţi antehipofizei. Dintre ei doar şase sînt, indiscutabil, de natură proteică.

Hormonul de creştere, purificat de Li şi Evans (1944), nu este numai un factor de creştere. Din cercetările recente rezultă că acesta are un efect general de catalizator şi că, printre altele, favorizează acţiunea altor hormoni.

Opunîndu-se folosirii glucozei şi înlesnind-o pe cea a grăsimilor, acest hormon permite organismului să menţină în cursul inaniţiei o concentraţie glicemică indispensabilă creierului. Dacă este în exces, el poate determina apariţia diabetului (Young, 1937).

Hormonii extraşi de la animale nu sînt eficace la om, spre deosebire de cei prelevaţi de la om sau de la maimuţă; aceasta se explică prin deosebirile de structură ale macromoleculei lor (Li, 1956—59). Digestia parţială a hormonului bovin pare a-i fi furnizat lui Li (1958) un hormon utilizabil şi la om.

Spre deosebire de hormonul de creştere, care are o acţiune difuză, ceilalţi hormoni antehipofizari stimulează celelalte glande în mod selectiv.

Hormonul tireotrop, preparat de Loeb şi Bassett (1929), care stimulează creşterea şi funcţiile tiroidei (fixarea iodului, sinteza hormonilor tiroidieni), nu este folosit decît pentru a verifica valoarea funcţională a tiroidei, adică fixarea radioiodului.

Hormonul corticotrop (A.C.T.H.), preparat de Collip (1933) şi purificat de Li (1942) şi Sayers (1943), împiedică atrofierea cortexului suprarenal după hipofizectomie. El determină micşorarea concentraţiei de acid ascorbic şi de colesterol (şcoala lui Long, 1943) şi stimulează sinteza hormonilor de tipul cortizonului, ceea ce explică faptul că astăzi el este folosit, împreună cu această substanţă, în aceleaşi afecţiuni. El mai serveşte şi la explorarea valorii funcţionale a cortexului suprarenal. Structura polipeptidică a acestui hormon a fost elucidată în mai multe laboratoare americane; în 1960, K.Hofmann (Pittsburg) a anunţat realizarea sintezei unui compus cu activitate biologică comparabilă.

În 1926, P.E. Smith şi B. Zondek grăbesc maturarea sexuală a femelelor de şobolani prin implantarea unor fragmente de hipofiză. Acţiunea variabilă a extractelor a dus la ideea existenţei a două substanţe diferite, *hormonii gonadotropi: hormonul foliculo-stimulant* (F.S.H.), care stimulează creşterea foliculului ovarian, şi *hormonul luteinizant* (L.H.), care determină secretarea unui hormon estrogen şi care, în doze suficiente, expulzează ovulul din folicul, unde se formează atunci corpul galben (luteinizare). Totuşi, cel puţin la femela şobolanului, corpul galben nu elaborează produsul său specific, progesteronul, decît datorită unui al treilea principiu hipofizar, luteotropul. Acest hormon, care avea să fie identificat după 1940 cu *prolactina*, descoperită în 1929 de Stricker şi Grueter, joacă un rol determinant în secreţia lactată.

Extrema complexitate a legăturilor dintre hipofiză şi gonade explică imprecizia cunoştinţelor actuale; totuşi lipsa de F.S.H. şi de L.H. nu permite apariţia pubertăţii şi, într-o cantitate mai mică, nu permite nici ovulaţia. Urina castraţilor sau femeilor la menopauză conţine mari cantităţi de hormoni gonadotropi, probabil F.S.H. şi L.H. Hormonii gonadotropi mai sînt secretaţi de placentă şi se găsesc în cantităţi enorme în urina şi în sîngele femeilor gravide (Aschheim şi Zondek).

Descoperirea prolanilor de origine placentară avea să ducă la realizarea uneia dintre probele cele mai impresionante ale biologiei hormonale: diagnosticul biologic al sarcinii (Aschheim şi Zondek).

HORMONII TIROIDIENI. În 1895, E. Baumann a extras din tiroidă o proteină iodată. Ulterior, E. C. Kendall (1915) a izolat o substanţă cristalizată foarte activă, a cărei formulă a fost elucidată de Ch.R. Harington (1926), sinteza ei fiind realizată de G. Barger (1927). Mult timp, tiroxina sau tetra-iodotironina avea să fie considerată drept singura substanţă tiroidiană activă. În 1952, Roche, Gross şi Pitt-Rivers, lucrînd independent, au identificat în tiroidă o triiodotironină mult mai activă decît tiroxina. Recent au fost identificate şi alte substanţe mai mult sau mai puţin active.

Alte două realizări decisive au marcat ultimii ani. În primul rînd, folosirea unor substanţe naturale (extrase din varză: Chesney, 1928) sau artificiale (cianură: Marine, 1932; derivaţi ai tioureei: Richter, 1941) care se opun, în diverse etape, sintezei hormonale. Unele au fost folosite în tratarea hipertiroidiei. În al doilea rînd, este vorba de utilizarea iodului radioactiv (I^{131}, şi apoi I^{132}), care se fixează selectiv pe tiroidă (Hertz şi colaboratorii, 1938-41; Leblond şi Süe, 1940—41), înainte de a intra în lanţul sintezei hormonale. Fixarea iodului radioactiv a devenit un mijloc de bază în explorarea valorii funcţionale a tiroidei la om; în doze mari, ea permite distrugerea glandei (Hamilton, Hertz, 1942).

Prepararea de către Joliot, Courrier, Horeau şi Süe (1944) a tiroxinei radioactive, primul hormon marcat, precum şi impulsul dat de Chaikoff (1947) studiului biosintezei hormonilor tiroidieni au permis unor şcoli (în special celei a lui Roche) să precizeze etapele şi localizările alterării congenitale în anumite guşi umane.

Catalizînd oxidările celulare, hormonii tiroidieni măresc metabolismul bazal (Magnus-Levy, 1895). Cînd sînt în exces, ei provoacă boala lui Basedow, a cărei origine constă adesea într-o excitare diencefalohipofizară; mixedemul este, dimpotrivă, urmarea insuficienţei lor.

Acesta se poate datora fie distrugerii tiroidei, fie unei slabe stimulări hipofizare (Means, 1940); ea nu este însoţită de guşă decît dacă are loc o alterare a mecanismului de biosinteză sau o carenţă de iod. În perioada 1850—1860, Chatin atribuia guşa sărăciei solului în iod, drept care preconiza folosirea acestuia pentru prevenirea guşei endemice.

HORMONII TESTICULARI. În 1850, Leydig a descoperit între tuburile seminifere, în care iau naştere spermatozoizii, un ţesut interstiţial. Şcoala lui Bouin (1903—33) a reuşit să demonstreze că acesta secretă hormonul masculinizant, a cărui existenţă a fost sugerată de lucrările lui Berthold (1849) asupra cocoşului, ale lui Steinach (1894) asupra rozătoarelor, ale lui Pézard (1911—23) asupra claponului, precum şi de observaţiile asupra eunucilor (Tandler şi Grosz, 1907—10).

După obţinerea primului extract activ din creasta de clapon (Pézard, 1911), sînt semnalate cel al lui McGee (1927) şi apoi cel al lui Moore, Gallagher şi Koch (1929). În 1935, Laqueur şi şcoala sa extrag din testicul o substanţă steroidă cristalizată, testosteronul, sintetizată curînd după aceea de Ruzicka şi Wettstein în Elveţia, de Butenandt în Germania, Girard şi apoi Roussel în Franţa. În 1931 şi 1934, Butenandt a extras din urină alţi doi androgeni, androsteronul (sintetizat de Ruzicka, 1934) şi dehidroandrosteronul. Considerat drept hormonul cel mai caracteristic al testiculului, testosteronul este degradat în organism în diverse substanţe, dintre care unele (17 cetosteroizii) sînt uşor recunoscute în urină cu ajutorul reacţiei lui Zimmermann (1935). Unii hormoni ai cortexului suprarenal furnizează, de asemenea, cetosteroizi.

Un hormon hipofizar identic cu hormonul luteinizant (L.H.) stimulează secreţia androgenului, care, la rîndul lui, limitează secreţia de L.H. Tuburile seminifere sînt stimulate de F.S.H. şi, probabil, şi de androgen.

Celor mai cunoscute efecte ale androgenilor asupra caracterelor sexuale secundare masculine, li se adaugă reţinerea azotată care îi apropie de hormonul de creştere. Mai mult, secreţia testiculului joacă un rol încă de timpuriu, deoarece la embrionul de mamifere, ea modelează conductele genitale în sens masculin pornind de la tipul neutru feminin (Jost, 1947). În preajma naşterii, ea imprimă la rozătoare o limitare definitivă a secreţiei de L.H. de către hipofiză, dîndu-i un caracter masculin (Pfeiffer, 1936). Testosteronul (sau unele substanţe artificiale apropiate) reduce inconvenientele castrării sau ale îmbătrînirii la bărbat şi la femeie.

HORMONII OVARULUI. Nici castrarea animalelor femele, nici cunoaşterea mai perfectă a ovarului, datînd de pe vremea lui de Graaf, care a descris foliculul ovarian (1675), şi în care von Baer (1827) a descoperit oul, nu au permis să se bănuiască existenţa unei secreţii interne a acestei glande. Ea va fi demonstrată abia în 1895, de Knauer, care provoacă reapariţia ciclurilor suprimate prin castrare.

În 1906, Marshell şi Jolly prepară un extract care provoacă rutul la căţea. Progrese deosebite nu se realizează însă decît în urma unei serii de studii asupra ciclului sexual la rozătoare (Stockard şi Papanicolau, 1917; Long şi Evans, 1920). E. Allen şi Doisy vor stabili, în 1923, faptul că keratinizarea vaginului reprezintă un bun test al activităţii estrogene. Curînd după aceea (1924), Doisy, Allen şi Courrier dovedesc că lichidul folicular este estrogenic.

Vor fi descoperite apoi şi alte surse de estrogeni: urina femeii însărcinate (Aschheim şi Zondek, 1927), urina (Hanesseler, 1934) şi testiculul de armăsar (Zondek, 1935). Din urina de femeie însărcinată, Doisy (1929) şi Butenandt (1929) extrag primul estrogen cristalizat, estronul, a cărui formulă steroidică va fi stabilită de Butenandt (1932). Pornind de la estron, Schwenk şi Hildebrandt (1933) prepară estradiolul pe care Doisy îl regăseşte în ovarul de purcea. Fiind foarte activ, estradiolul este considerat a fi adevăratul hormon natural. Se cunosc şi alte substanţe naturale: estriolul, extras din urina femeilor însărcinate (Marrian, 1930) sau din placenta umană (Collip, 1930), şi echilenina extrasă din urina iepelor gravide (Girard, 1932—36).

Dodds (1938) plasează stilboestrolul în fruntea listei — atît de lungi astăzi — a estrogenilor artificiali, dintre care vom aminti acizii doisilonici (Miescher, 1945) şi allenolici (Horeau şi Jacques, 1947).

În foliculul care a expulzat ovulul se formează un corp galben, avînd o structură asemănătoare cu cea a unei glande endocrine (Prenant, 1898). Fiind indispensabil gestaţiei (Fraenkel, 1901), corpul galben determină formarea „dantelei“ uterine, absolut necesare implantării ovulului (Bouin şi Ancel, 1909). Testul lui Corner şi W.N. Allen (progestina, 1929), bazat pe „dantelă“, va permite realizarea unor progrese decisive în purificarea extractelor care previn avortul după extirparea corpilor galbeni. În 1934 este izolat progesteronul cristalizat (Butenandt, Wintersteiner), a cărui formulă steroidică va fi stabilită, iar sinteza parţială avea să fie realizată în acelaşi an (Butenandt).

În 1937—38, Venning şi Browne demonstrează că dozarea pregnandiolului urinar oferă informaţii asupra secreţiei progesteronului, al cărui produs de degradare este.

Ovarul conţine şi el un ţesut interstiţial, cu rol încă neprecizat, dar care, cel puţin în anumite împrejurări, elaborează androgeni (Guyénot, 1932; Hill, 1937).

Estrogenii determină dezvoltarea oviductului, a uterului, a vaginului, a glandei mamare, pe care le pregătesc pentru acţiunea progesteronului, care va realiza, printre altele, culcuşul uterin. Anumite tumori ovariene produc mari cantităţi de estrogeni şi de androgeni care pot determina, fie o falsă pubertate precoce, fie — mai tîrziu — o masculinizare. Cunoaşterea încă imprecisă a legăturilor foarte complexe dintre hormonii ovarieni pe de o parte, ca şi dintre aceştia şi hormonii gonadotropi, explică nesiguranţa actuală în ceea ce priveşte tratamentul anumitor tulburări ginecologice, probabil de origine hormonală. În cazul extrem al absenţei ovarelor, doar estrogenii suprimă bufeurile de căldură, dezvoltă sînii, iar dacă tratamentul este intermitent, permit menstruaţia, în timp ce asocierea progesteronului îngăduie realizarea unor cicluri artificiale mai corecte.

La femeie, placenta dobîndeşte funcţii endocrine importante, deoarece elaborează nu numai un hormon corionic (Aschheim şi Zondek, 1927), care stimulează secreţia de progesteron de către corpul galben, dar, după cum afirmă Courrier (1945), şi de estrogeni şi progesteron, ceea ce explică continuarea gestaţiei şi după castrare.

HORMONII CORTEXULUI SUPRARENAL. După Brown-Séquard (1856), suprarenala este indispensabilă vieţii. A. Biedl (1910) stabileşte în mod neîndoielnic acelaşi lucru şi în ceea ce priveşte cortexul.

Au fost preparate extracte (Rogoff şi Stewart, 1927; Swingle şi Pfiffner, 1929; Hartmann şi colaboratorii) care permit supravieţuirea animalului lipsit de suprarenale. Din acestea s-au extras substanţe cristalizate foarte active (Grollman şi Firor, 1933; Kendall, 1935; Winterstein şi Pfiffner, 1935) de natură steroidică, ca hormonii gonadici.

De fapt, cortexul suprarenal produce cîteva substanţe foarte diferite:

a) Aldosteronul, care se opune pierderii renale a sodiului, este stimulat nu de A.C.T.H., ci, probabil, de un neurohormon diencefalic (Rauschkolb şi Farrell, 1956);

b) Dacă este stimulat cu A.C.T.H., el secretă glucocorticoizi de tipul cortizonului, care ajută la transformarea proteinelor în glucoză. Orice agresiune declanşează un răspuns al suprarenalei (Selye), care, datorită unor mecanisme de biosinteză, elucidate recent de şcoala lui Pineus, elaborează şi secretă un surplus de asemenea substanţe. Acestea reglează intensitatea — uneori dezastruoasă — a „reacţiilor de apărare" ale organismului. Obţinerea primelor extracte cristalizate din cortexul suprarenal a suscitat cercetări fecunde.

Încă din 1935—36, dehidrocorticosteronul a fost izolat (Mason, Edward, Kendall), ca şi corticosteronul (Mason, Kendall, Reichstein) şi cortizonul, sau compusul E al lui Kendall (Winterstein şi Pfiffer, Kendall). În 1937 au fost izolaţi adrenosteronul (Reichstein), hidrocortizonul, compusul F al lui Kendall, şi s-a obţinut sinteza parţială a dezoxicorticosteronului (Steiger şi Reichstein), care va fi extras, în anul următor, din suprarenală (Reichstein şi von Euw). Din suprarenală au fost astfel extrase cîteva zeci de steroizi, activi sau nu, înrudiţi cu cortizonul, cu androgenii, cu progesteronul şi chiar cu estrogenii. Totodată au fost completate şi sintezele lor: corticosteronul (Reichstein, 1945); cortizonul sau 11 hidroxi 17 dehidrocorticosteronul (Sarett, 1946; Kendall, 1947, pornind de la acidul dezoxicolic; R. B. Woodward, 1953). Rămînea însă o fracţiune amorfă, cea mai activă pentru menţinerea vieţii. Eforturile comune ale mai multor grupe de cercetători (Simpson, Wettstein, Neher, von Euw, Schindler şi Reichstein) au permis, în 1952, extragerea aldosteronului cristalizat şi stabilirea formulei lui. În 1955, Wettstein va realiza sinteza acestui hormon, de 50 ori mai activ decît dezoxicorticosteronul.

Între timp, în 1949, cel mai important dintre aceşti hormoni, cortizonul, îşi face intrarea triumfală în terapeutică (Ph.S. Hench şi E.C. Kendall). Se obţine sinteza sa industrială pornind de la steroli. Despre avîntul rapid al corticoterapiei suprarenale care a urmat vom vorbi mai tîrziu, în cadrul expunerii privind importante progrese ale sintezelor realizate (pag. 898—900).

c) În sfîrşit, tot din cortex provin şi *androgenii suprarenali* (adrenosteronul, dehidroepiandrosteronul), a căror concentraţie creşte sub acţiunea A.C.T.H.-ului. Distrugerea suprarenalei (boala lui Addison) duce la scăderea secreţiei tuturor acestor hormoni, precum şi a concentraţiei lor în urină. În asemenea cazuri, tratamentul este azi uşor de realizat.

Suprarenala poate produce prea mult aldosteron, fără să existe o tumoare a cortexului (Conn, 1954), în cursul afecţiunilor edematoase, cardiace, renale (Luetscher, 1954) sau hepatice (Wolff, 1955). Un exces de glucocorticoid, provocat de o tumoare renală sau de o hiperplazie, produce boala lui Cushing (1932). Un exces de androgen, tumoral sau nu, provoacă virilizarea femeii adulte; la băieţi, el produce o falsă pubertate precoce. Acţionînd foarte de timpuriu, *in utero*, el masculinizează, mai mult sau mai puţin intens, organele genitale externe la fete. În sindromul lui Debré-Fibiger, în care se asociază semnele de hiperandrogenie şi de deficit al funcţiilor suprarenale, s-a putut dovedi recent că tulburarea primitivă este o incapacitate a suprarenalei de a sintetiza glucocorticoizii; un exces de A.C.T.H., datorit unei hipofize hipersecretoare, stimulează funcţia suprarenalei, care aruncă în circulaţie produse androgene. Frînînd hipofiza, cortizonul pune capăt acestui exces de androgeni (Wilkins, 1950—55).

Dozările corticoizilor suprarenali în urină, fracţionarea lor cromatografică (pag. 836), studiul reacţiilor cortexului la A.C.T.H. au furnizat elemente de o precizie incomparabilă pentru diagnostic, precum şi pentru tratamentul bolii lui Addison şi al sindroamelor de hiperfuncţie suprarenală.

HORMONII POSTHIPOFIZEI SAU AI LOBULUI POSTERIOR. Din această prelungire a sistemului nervos, Oliver şi Sharpey-Schafer au obţinut, în 1895, un extract care măreşte presiunea arterială. Deşi nu are o structură endocrină, lobul posterior ar elabora deci hormoni care provoacă scăderea excreţiei urinare a apei, în special în diabetul insipid (Magans şi Schaefer, 1901). La această acţiune a posthipofizei, Dale (1909) adaugă un efect stimulator asupra contractării muşchiului uterin şi a altor muşchi netezi (excreţia laptelui). Aceste trei proprietăţi sînt atribuite la trei hormoni diferiţi: *vasopresină*, *hormonul antidiuretic* (A.D.H.) şi *ocitocină*. Prin purificări succesive, prin stabilirea formulelor (du Vigneaud, Fromageot) şi, în sfîrşit, prin realizarea unei foarte remarcabile sinteze (prima sinteză a unui hormon proteic) de către Vigneaud (1953) aceştia s-au redus la doi, şi anume hormonii posthipofizari: A.D.H. (vasopresină) şi ocitocină.

A.D.H.-ul, care împiedică pierderile de apă din rinichi, are o secreţie reglată de osmoreceptori situaţi în hipotalamus şi care sînt sensibili la variaţiile presiunii osmotice (Verry, 1947). El normalizează diureza crescută în diabetul insipid, consecutiv unei leziuni posthipofizare. Deşi mult utilizată de mamoşi, rolul ocitocinei este încă în discuţie în ceea ce priveşte mecanismul naşterii normale. Se admite însă, dimpotrivă, că ea favorizează expulzia laptelui, dacă este secretată în urma sugerii mamelonului.

Interesul teoretic major al posthipofizei constă în faptul că, fiind un apendice al sistemului nervos (hipotalamus), ea este considerată astăzi un simplu rezervor de substanţe elaborate în hipotalamus[7].

HORMONII HIPOTALAMICI. Demonstrarea histologică a unei secreţii a „glandei diencefalice“ (Scharrer) se datoreşte lui Scharrer (1928) şi Bargmank (1949). Dar hipotalamusul nu produce oare decît hormoni cu destinaţie posthipofizară?

De fapt, se ştie de multă vreme că leziunile tumorale traumatice sau encefalitice ale hipotalamusului pot provoca o insuficienţă antehipofizară, care influenţează în mod evident gonadele. Ipoteza insuficient susţinută a unui control al hipotalamusului asupra hipofizei pe cale nervoasă este înlocuită, treptat, cu cea a unui control humoral (Harris, 1955; Benoît şi Assenmacker, 1955) prin intermediul unui sistem vascular port foarte special care transportă sîngele de la hipotalamus spre antehipofiză.

Guillemin (1955) a arătat că o cultură de lob anterior nu secretă A.C.T.H. decît în prezenţa unui extract hipotalamic sau posthipofizar. Acest autor consideră că a reuşit să izoleze o substanţă specifică ce stimulează secreţia de A.C.T.H., deosebită de vasopresină, şi care — după alţi autori (Sayers) — ar fi veritabilul stimulent.

Astăzi pare sigur faptul că secreţia A.C.T.H.-lui de către hipofiză este stimulată de un neurohormon hipotalamic.

Din nefericire, aceste remarcabile descoperiri nu au pînă acum un corespondent în cazul hormonilor tireotropi şi gonadotropi. Secreţia prolactinei determinată de către o antehipofiză, grefată departe de hipotalamus (Everett, 1954—58), dovedeşte că substanţele studiate pot avea fie un rol inhibitor, fie unul stimulator, în funcţie de stimulina hipofizară considerată.

În domeniul cel mai recent abordat al neurohormonilor avem dreptul să aşteptăm, în anii viitori, progresele cele mai remarcabile pe plan experimental şi poate că şi terapeutic.

---

[7] Relaţia circulatorie, printr-un sistem port special, dintre hipotalamus şi posthipofiză a fost pusă în evidenţă de către Gr. T. Popa, profesor de anatomie la Facultatea de medicină din Iaşi şi apoi la cea din Bucureşti. — *G.B.*

E. BOLILE SÎNGELUI

Progresele realizate în cunoaşterea bolilor sîngelui au revoluţionat această disciplină. Studiul efectelor radiaţiilor, al transfuziei sanguine, fracţionarea plasmei, analiza din ce în ce mai fină a mecanismelor hemostazei, avîntul imunohematologiei, cunoaşterea multitudinii hemoglobinelor, informaţiile furnizate de biochimie, de citochimie, de fizica izotopică, microscopul electronic şi alte descoperiri au transformat cunoştinţele noastre asupra patologiei sanguine.

GRUPELE SANGUINE. ANTICORPII. Nu vom reveni nici asupra descoperirii izoaglutinantelor şi a grupelor sanguine (Landsteiner, 1900; etc.), şi nici asupra celei a factorului Rh, care au fost expuse în alt capitol[8] şi ale căror consecinţe vor fi prezentate într-un paragraf următor (pag. 902). Subliniem totuşi că în 1945, descoperirea factorului Rh a fost exploatată de Wiener şi Peters, care au arătat că reacţiile de transfuzie pot fi datorate acestui antigen, şi de Levine, Katzin şi Burnham, care atribuie boala hemolitică a nou-născutului unei incompatibilităţi mamă-copil.

În 1945, Coombs, Mourant şi Race detectează anticorpii incompleţi (neaglutinanţi) prin folosirea serului de iepure ca antiglobulină umană (testul lui Coombs). Aceasta reprezintă punctul de plecare al întregii imunohematologii umane, ale cărei începuturi au fost marcate prin descoperirea importanţei fragilităţii osmotice a hematiilor în icterul hemolitic congenital (Chauffard, Hayem şi Minkowski, 1907); amintim, de asemenea, că în 1928, Marchiafava izolează hemoglobinuria nocturnă paroxistică sau boala lui Marchiafava-Micheli, care se datoreşte unei modificări dobîndite a membranei hematiilor, devenită sensibilă la un agent lizant, probabil properdina.

În 1946, Boorman, Dodd şi Loutit stabilesc, cu ajutorul testului lui Coombs, mecanismul fiziopatologic al anemiilor hemolitice prin autoanticorpi. Acesta este punctul de plecare al întregii patologii prin autoagresiune, care depăşeşte astăzi cu mult domeniul hematologiei; mecanismul său a fost întrevăzut de Widal şi Abrami încă din 1907, iar prima boală cauzată prin autohemoliză a fost descrisă de Donath şi Landsteiner, în 1904.

TULBURĂRILE COAGULĂRII. Fără a relua istoricul lentei lămuriri a mecanismului coagulării sîngelui[9], vom menţiona doar cîteva importante descoperiri medicale legate de această problemă.

În domeniul tulburărilor coagulării, Glanzmann descrie în 1918 trombastenia, cunoscută astăzi sub denumirea de boala lui Glanzmann, afecţiune congenitală ereditară, legată de o anomalie plachetară caracterizată prin neretractibilitatea cheagului.

În 1931, Willebrand descrie o afecţiune hemoragică constituţională, ereditară, caracterizată printr-o creştere a timpului de sîngerare fără trombopenie, căreia îi dă numele de pseudohemofilie.

---

[8] Vezi şi studiul lui R. Kehl (pag. 641–643).

[9] Vezi şi studiul lui R. Kehl (pag. 641–643).

Această descriere iniţială este completată de lucrările lui Jurgens (1933, 1957), Alexander şi Goldstein (1953) şi Nilssonn (1958), care duc în cele din urmă la recunoaşterea sindromului lui Willebrand drept o prelungire a timpului de sîngerare asociată cu un deficit de factor antihemofilic A.

În 1937, Patek şi Stetson arată că hemofilia, cunoscută de peste un secol, se datoreşte absenţei unui factor pe care îl denumesc globulină antihemofilică.

În 1947, Owren descrie parahemofilia sau deficitul congenital de factor V (proaccelerina). Descoperirea de către Biggs şi Aggeler în 1952 a celui de-al doilea factor antihemofilic, permite diferenţierea a două tipuri de hemofilie, A şi B. De asemenea, descoperirea factorului III (Rosenthal, 1953) pune în evidenţă o nouă diateză hemoragică apropiată de hemofilie, şi anume P.T.A. sau deficitul de plasma-tromboplastină anterioară.

HEMOGLOBINELE ANORMALE. Merită, în sfîrşit, a fi amintită descoperirea fundamentală a unei „boli moleculare“ a hemoglobinei, caracterizată prin înlocuirea unei hemoglobine normale printr-o hemoglobină anormală.

În 1949, Pauling, Inato, Singer şi Well dovedesc că hemoglobina persoanelor atinse de anemia cu celule falciforme (drepanocitare) se deosebeşte de hemoglobina normală prin proprietăţile sale electrochimice, datorite unor uşoare modificări ale compoziţiei în aminoacizi constitutivi şi că această anomalie explică simptomele bolii.

Ca urmare a acestei descoperiri fundamentale, tehnicile analitice au permis punerea în evidenţă a numeroase alte hemoglobine anormale. Astăzi, clinicianul are posibilitatea să stabilească un diagnostic precis al afecţiunilor hemolitice pe care odinioară le includea în vastul grup al sindroamelor hemolitice cu etiologie necunoscută şi în care boala era atribuită globulelor roşii, şi nu hemoglobinei. Geneticianul este martorul materializării unei tare ereditare considerate pînă acum în întregime recesivă: bolnavul este purtătorul doar al hemoglobinei anormale; individul heterozigot, aparent sănătos, dar purtător al tarei, posedă în cantităţi aproape egale cele două feluri de hemoglobină. În sfîrşit, cercetătorul observă în aceste cazuri privilegiate cum o leziune biochimică se află la originea unor simptome clinice. Pînă şi etnologul poate reconstitui, datorită hemoglobinelor anormale, migraţia istorică a populaţiilor.

F. CARDIOLOGIE

Acum 50 de ani, cardiologia nu dispunea decît de auscultaţie şi de măsurarea tensiunii arteriale. Metodele noi — radiografiile, angiocardiografiile, electrocardiografiile, cateterismele cardiace — au devenit părţi integrante ale unui examen cardiologic complet şi au permis realizarea de progrese senzaţionale în cunoaşterea bolilor de inimă.

Dacă bolile aparatului cardiocirculator reprezintă în mod cert cauza principală a mortalităţii în cea de-a doua jumătate a vieţii, se ştie astăzi că răspunderea principală pentru această mortalitate îi revine aterosclerozei coronariene.

Coronarita micşorează aportul de oxigen în miocard, ceea ce atrage după sine tulburări grave ale metabolismului muşchiului cardiac, provocînd chiar necroza miocardică şi traducîndu-se prin compromiterea ireversibilă a acestui organ, prin dureri violente de angină pectorală sau prin moarte subită.

Această afecţiune a coronarelor este cunoscută din punct de vedere anatomic de mult timp, şi mai ales de la teza lui René Marie asupra infarctului miocardic (1896), dar dezvoltarea electrocardiografiei, prin evidenţierea perturbaţiilor electrogenezei cardiace, este cea care a permis confruntarea perturbaţiilor electrice cu semnele clinice, datorită cercetărilor lui Pardee (1920), Parkinson (1927), Bedford (1942) şi Wilson (1924—48) asupra obstrucţiei coronariene, infarctului miocardic şi diferitelor sale localizări.

Noţiunea de insuficienţă coronariană, bazată pe criterii solide — clinice, electrice şi anatomice — reprezintă una dintre marile cuceriri ale medicinii din secolul al XX-lea. Progrese deosebite s-au realizat şi în domeniul cardiopatiilor congenitale.

Descoperirile pionierilor din secolele al XVIII-lea şi al XIX-lea: Sénac, F. Franck, Fallot, care descriu simptomele şi leziunile, Rokitansky, A. Keith, Spitzer, care caută explicarea malformaţiilor prin aplicarea descoperirilor embriologiei şi anatomiei comparate, au pregătit realizările secolului al XX-lea: sinteza lui M. Abbott (1932), chirurgia canalului arterial legat de către R. E. Gross (1939), ideea originală a unei „chirurgii compensatoare" a lui H. Taussig (1944) — magistral realizată de A. Blalock (1945) sub forma unei anastomoze între o ramură a aortei şi o ramură a arterei pulmonare, împotriva tetralogiei lui Fallot — apoi corectarea stenozelor istmului aortic (R.E. Gross şi Hufnagel, C. Crafoord cu E. Mannheimer, T. Wiklund şi G. Nylin, 1939). Dar toate acestea nu ar fi putut fi realizate fără angiocardiografia lui Lopo di Carvalho, Egas Moniz şi A. Lima (1931) şi fără remarcabila tehnică fiziologică a cateterismului cardiac, pusă la punct şi aplicată în cardiopatiile congenitale de André Cournand şi colaboratorii (1941), urmată de studiile lui R.J. Bing şi ale colectivului său.

După cel de-al doilea război mondial, o uimitoare serie de descoperiri a făcut accesibil cunoaşterii noastre — şi, adesea, a permis un tratament chirurgical eficace — grupul, pînă atunci misterios şi total incurabil, al cardiopatiilor congenitale (pag. 901—903).

Dar, pe lîngă malformaţiile care afectează inima încă înaintea naşterii, pe lîngă ateroscleroza coronariană care o dizlocă în cea de-a doua jumătate a vieţii, mai există şi un al treilea pericol care o ameninţă: reumatismul articular acut, capabil să ucidă rapid, creează un mare număr de infirmi pe viaţă, în plină tinereţe şi în plină activitate, reprezentînd, practic, cauza principală a cardiopatiilor dobîndite în tinereţe. Această boală, datorită unui streptococ hemolitic din grupul A (Coburn, 1931; Collis, 1934; Lancefield, 1928: identificarea streptococilor prin grupare şi selectare; Todd, 1938: punerea în evidenţă a anticorpilor streptococici în sînge), atacă cele trei învelişuri constitutive ale inimii, în special endocardul, şi se fixează adesea pe una dintre valve, căreia îi perturbă definitiv funcţionarea.

Studiul clinic al cardiopatiilor valvulare reumatismale era avansat încă de la începutul secolului. În ultimii 15 ani, modul de acţiune al bolii a fost definitiv precizat prin cateterism, ceea ce ne conduce la epoca hemodinamică din istoria sa.

Barajul rezultat din stenoza mitrală dilată auriculul stîng, ceea ce duce la creşterea presiunii în venele şi apoi în capilarele pulmonare, tulburînd în totalitate mica circulaţie şi sfîrşind prin a mări presiunea în artera pulmonară şi a supraîncărca ventricolul drept. Urmările sale îşi înscriu variaţiile şi ameninţările pe traseele hemodinamice şi electrocardiografice. Informaţiile furnizate de aceste explorări, asociate cu semnele clinice, indică necesitatea şi posibilitatea unei intervenţii.

G. HIPERTENSIUNEA ARTERIALĂ ŞI BOLILE VASCULARE

Problema patogeniei şi fiziopatologiei hipertensiunii arteriale permanente a suscitat numeroase cercetări. Formulată ca o ipoteză încă de mult timp, datorită frecvenţei creşterii presiunii sanguine în nefrită, concepţia unei hipertensiuni de origine renală întîmpina totuşi o dificultate: părea imposibilă reproducerea ei experimentală prin lezarea rinichiului. Dar H. Goldblatt, în 1934, a arătat că se putea provoca o hipertensiune durabilă la un animal prin crearea unei stări de ischemie renală cu ajutorul unor pense care micşorau calibrul arterelor renale.

S-a putut demonstra chiar că o astfel de hipertensiune este legată de secretarea de către rinichiul ischemiat a unei substanţe speciale, numită de unii renină (Page, Houssay, Tigerstedt), dar a cărei natură rămîne de fapt necunoscută. Compararea experienţelor de mai sus cu faptele clinice a părut a da roade imediate: prin metoda lui Goldblatt, s-au obţinut hipertensiuni cu insuficienţă renală gravă şi hipertensiuni solitare, după cum strîmtarea arterelor renale era mai intensă sau mai moderată. Dar, atîta timp cît nu vom obţine precizări asupra etiologiei hipertensiunii arteriale solitare umane, problema va rămîne în suspensie. În ultimii ani s-a pus accentul (Barker) asupra hipertensiunilor arteriale datorate nefropatiei unilaterale (sau leziunii căilor excretoare), susceptibile la vindecare prin exereza rinichiului bolnav.

Un număr oarecare de hipertensiuni arteriale nu se datoresc unei leziuni renale evidente: hipertensiunile consecutive unui adenom bazofil al hipofizei (boala lui Cushing) sau unei leziuni corticosuprarenale primitive, hipertensiunile prin hiperaldosteronism primar (sindromul lui Conn), hipertensiunile terapeutice ale bolnavilor trataţi cu A.C.T.H., cortizon sau dezoxicorticosteron. Hipernefroamele medulare hipertensive determină mai adesea hipertensiuni permanente decît crize de hipertensiune paroxistică: diagnosticul lor este uşurat de radiografia lombară după pneumoretroperitoneu (Revas, 1950), de testul la regitină (Grimson, 1949) şi de dozarea catecolaminelor urinare (Goldenberg, 1964).

Patogenia aterosclerozei este dominată de perturbaţiile umorale: creşterea reacţiei lui Kunkel la fenol, hipercolesterolemia, hiperlipidemia (Gofman, 1950—52; Katz, 1953). Studiile electroforetice arată că pe lipidogramă, fracţiunile β lente şi β foarte lente sînt cele care cresc pe seama fracţiunilor β rapide şi α (Raynaud, d'Eshouques şi Pasquet, 1955). Prezenţa permanentă a unor molecule de densitate mică, de dimensiuni mari şi de greutate moleculară mare, care conţin mai mult lipide şi mai puţin protide, este cea care determină ateroscleroza (Gofman). Heparinemia fiziologică ar avea proprietatea de a disloca moleculele mari şi de a dispersa colesterolul: de aici rezultă importanţa terapeutică a heparinei.

Numeroase lucrări au pus în lumină marea frecvenţă a trombozelor venoase latente ale membrelor inferioare, răspunzătoare de unele embolii pulmonare (Denecke, Olow, Frykolm, Homans, 1934; Lenègre şi Mathivat, 1945). Flebografiile, puse la punct de R. dos Santos, furnizează informaţii preţioase, precizînd poziţia şi dimensiunile cheagului şi au intrat în practica curentă.

H. BOLILE RINICHILOR

Între 1903 şi 1911, Fernand Widal, analizînd pe rînd simptomele nefritelor, a izolat, cu o genială siguranţă de interpretare, patru mari sindroame, fiecare cu o bază fiziologică diferită: albuminuria, edemele, sindromul azotemic şi sindromul hipertensiv. Şi astăzi aceste sindroame îşi păstrează o bază solidă, deşi progresele cunoştinţelor noastre au impus unele modificări.

Începutul secolului al XX-lea reprezintă punctul de plecare în explorarea funcţională a rinichiului. Ultimii 20 de ani au fost martorii apariţiei şi precizării noii teorii a funcţionării nefronului, cu cele trei roluri diferite ale sale: filtrare, reabsorbţie, excreţie.

Emisă de Carl Ludwig în 1843 şi reluată de H. W. Cushing în 1927, această teorie era, în realitate, o simplă ipoteză pînă la cercetările autorilor moderni care au acumulat dovezi. Starling şi Verney, prin preparatul „inimă-plămîn-rinichi", Richards (1924—33), prin micropuncţii ale nefronului, Rehberg, H. W. Smith, Govaerts, A. Walker, J. Olivier, P. Bott, M. McDowell şi mulţi alţii, prin studiul eliminărilor renale, au reuşit să strîngă un mănunchi de argumente decisive în favoarea mecanismului de filtrare-reabsorbţie şi a unui al treilea factor care intervine în formarea urinei, şi anume excreţia anumitor substanţe prin celulele tubulare.

Din aceste lucrări vor rezulta progrese decisive în înţelegerea funcţiilor renale, Ambard fiind primul care a introdus, încă în 1910, studiul lor cantitativ. Proba ureo-secretoare a lui Ambard a contribuit la iniţierea cercetărilor moderne care au dus la *clearence* şi, în special, la proba lui van Slyke sau proba epurării ureice (1921). Metoda *clearence*, sau a coeficientului de epurare plasmatică a diferitelor produse injectate, a căror eliminare este asigurată printr-un proces localizat într-un anumit segment al tubului urinar, a permis realizarea unor mari progrese în cunoştinţele noastre despre eliminarea apei, a glucozei şi electroliţilor (vezi pag. 835).

Şi prin alte metode s-a încercat să se precizeze capacitatea de excreţie a rinichiului, de exemplu prin eliminarea fenolsulfonftaleinei (P.S.P.) (Rowntree şi Geraghty, 1910).

În 1905, J. Albarran a pus la punct proba sa de poliurie experimentală care permite studiul secreţiei apei de către cei doi rinichi după cateterismul ureterelor. Legea lui Albarran stabilea faptul că rinichiul bolnav are un debit mult mai puţin suplu decît rinichiul sănătos şi că funcţionarea sa variază cu atît mai puţin, cu cît leziunea parenchimului este mai gravă.

În 1910, Vaquez şi Collet propun proba diurezei provocate. În acelaşi an, Volhard şi elevii săi pun la punct proba apei, o probă de diluţie-concentraţie; supleţea funcţionării rinichiului se apreciază prin marile variaţii ale cantităţii şi diluţiei eşantioanelor eliminate, aşa cum a stabilit Albarran; uniformitatea volumului şi densităţii eşantioanelor reflectă o tulburare funcţională gravă. Această probă, cunoscută sub denumirea de proba lui Albarran-Volhard, este folosită în mod curent.

Încep apoi să se întrevadă funcţiile endocrine ale rinichiului. În 1921, Nash şi Benedict stabilesc că aproape totalitatea amoniacului urinar este formată de către tubul renal şi că acest mecanism se asociază altor funcţiuni interne pentru a lupta contra acidozei. S-a ajuns la concluzia că rinichiul este organul cel mai important pentru menţinerea stabilităţii mediului intern. Au fost descoperite metode de măsurare a fiecăruia dintre cele două sectoare, celular şi extracelular, ale corpului (Peters, 1931—44; Gamble, 1942; van Slyke, R. Mach, 1942; R. Cachera, 1945—52).

Se afirmă şi sînt precizate şi alte metode de explorare funcţională, de exemplu proba de denivelare densimetrică posthipofizară (Hamburger şi Millet). Menţionăm şi importanţa considerabilă a urografiei pe cale venoasă, introdusă în 1929 de A. von Lichtenberg şi M. Swick.

Marile sindroame ale nevropatiilor sînt mai bine cunoscute.

Din nefrita edematoasă, datorită unei mari reţineri a sării, pusă în evidenţă deosebit de clar de Widal şi Lemierre în 1903, se detaşează sindromul nefrotic, căruia Epstein i-a consacrat o serie de studii (1912—17) ce au pus accentul pe tulburările protidolipidice, devenite un element esenţial în diagnosticarea acestui sindrom. Datorită lucrărilor lui Addis, ale lui Debré şi colaboratorii, nefrita acută streptococică, atît de frecventă la copii, este mai bine cunoscută şi individualizată. În toate insuficienţele renale, alături de retenţia azotată, sînt depistate acum şi tulburări ale echilibrului acidobazic, tulburări ale echilibrului osmotic, hipocalcemia, hiper- şi hipokaliemiile (Darrow şi Yannet, Peters, van Slyke, Mach, Gamble, Hamburger), care prezintă un interes considerabil, mai ales în cazul nefropatiilor tubulare acute, la alegerea regimului alimentar şi a procedeelor de derivare extrarenală şi pentru a permite bolnavului să depăşească situaţiile critice.

În urologie, progresele sînt în chip evident paralele, datorită metodelor de explorare radiologică şi noţiunilor moderne de fiziopatologie renală.

Explorarea radiologică a căilor urinare inferioare s-a îmbogăţit în ultimii ani cu numeroase procedee: cistografia de umplere (A. von Lichtenberg, 1905), pneumocistografia (Rosenstein, 1924), metoda băltoacei (Vallebona, Roffo, 1926), uretrografia retrogradă (Sicard şi Forestier, 1925) şi, în sfîrşit, angiografia renală (R. dos Santos şi Caldas, 1929), realizată astăzi prin introducerea unui cateter în artera femurală (Farinas, 1946; Helmswort, 1950).

Două metode moderne, şi anume realizarea de clişee tomografice după urografie şi radiografia după retro-pneumo-peritoneu sînt curent folosite în urologie pentru diagnosticul diferenţial al tumorii regiunii lombare. Tendinţa actuală este de a înlocui procedeele de explorare a căilor urinare în stare statică prin tehnici care înregistrează pe viu mecanismul fiziologic și patologic al excreției urinare: radiocinematografia și studiul înregistrărilor presiunii.

În domeniul urologiei, o serie de realizări noi în bacteriologie, în anatomia patologică, precum și descoperirea antibioticelor au reprezentat un mare progres.

Patogenia celor trei mari tipuri de infecții — infecțiile supurative cu coci gram pozitivi, infecțiile ascendente cu bacili gram negativi și infecțiile tuberculoase urinare — era insuficient cunoscută, iar terapeutica lor medicală, inexistentă. Cercetările lui Brewer în Anglia, ale lui Helmholtz în America și ale lui Marion și Heitz-Boyer în Franța au contribuit la o mai bună cunoaștere a florei microbiene urinare și a căilor ei de propagare; prin descrierea sindromului enterorenal, Heitz-Boyer a precizat raporturile ce există între flora intestinală și flora urinară și a insistat asupra deplasării frecvente a unui colibacil patogen din tubul digestiv în aparatul urinar.

Apariția derivaților sulfamidați și apoi a antibioticelor fungice a transformat complet tratamentul și evoluția pielonefritelor.

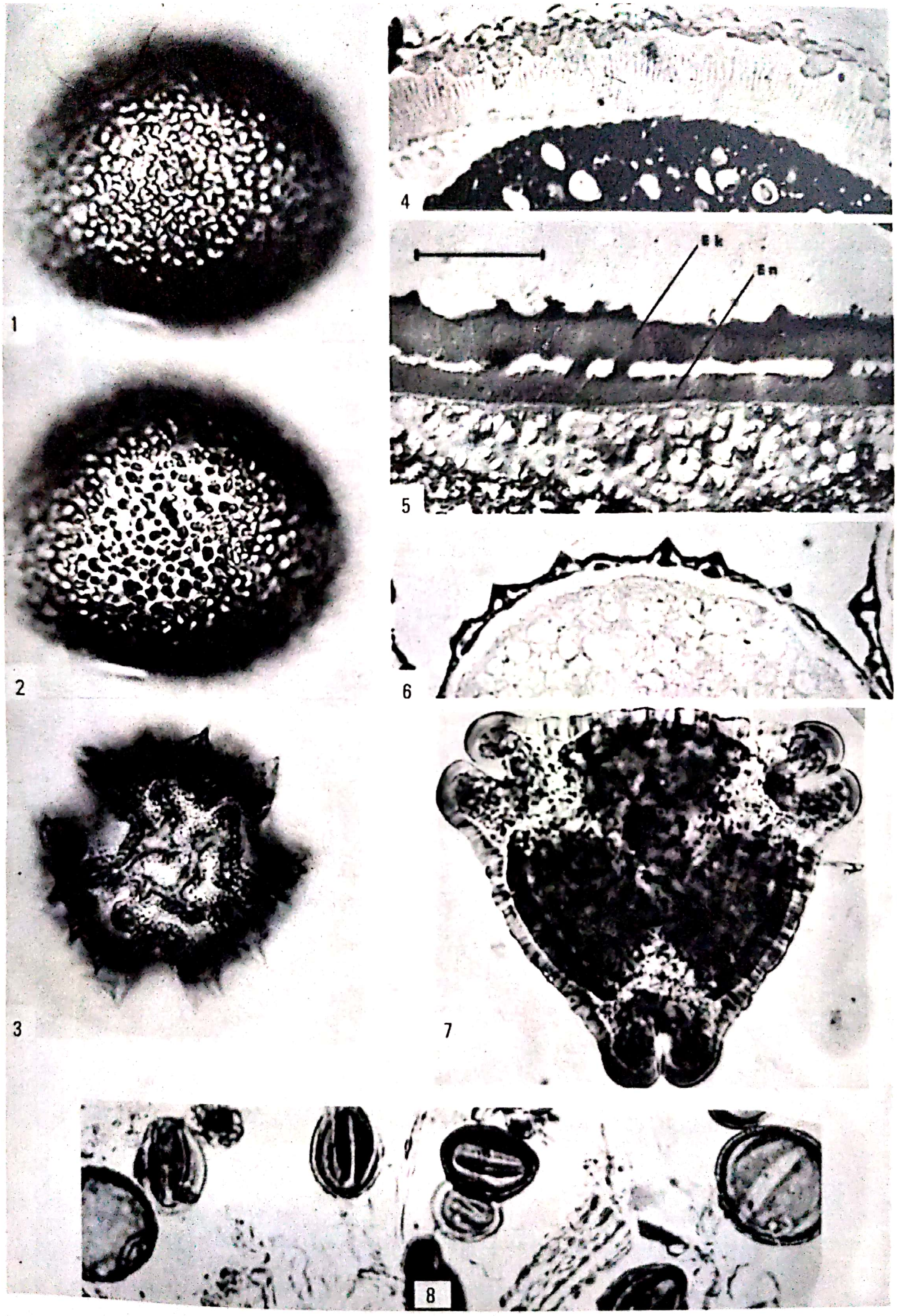
Multiplicitatea și selectivitatea germenilor urinari impun reguli terapeutice precise; cînd acestea sînt respectate, tratamentul devine decisiv în pielonefritele acute. Regulile de evoluție rămîn totuși aceleași; eșecul terapeuticii, recidivele și cronicizarea trebuie puse adesea pe seama unei investigații insuficiente a leziunilor.

I. BOLILE FICATULUI ȘI PANCREASULUI

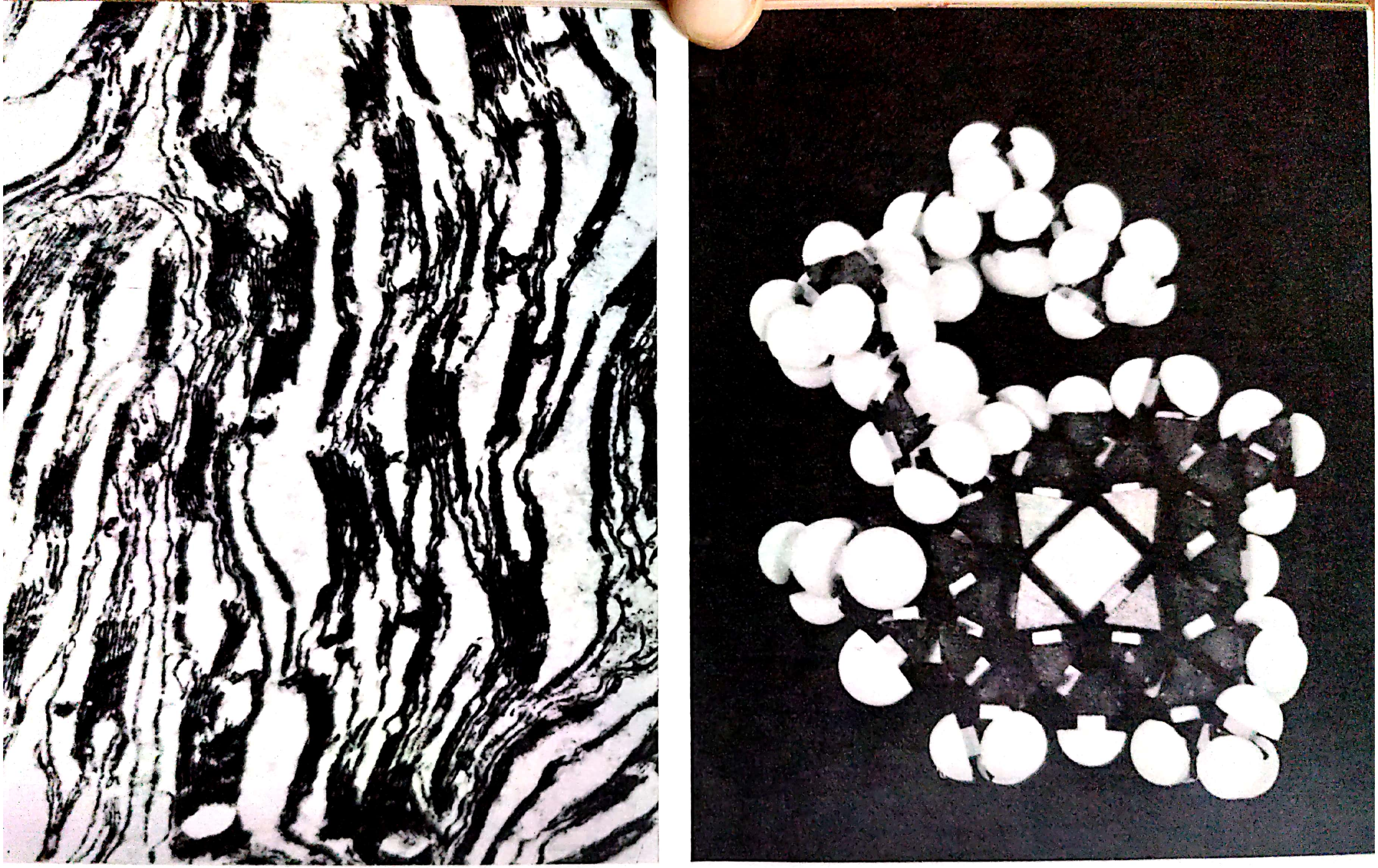
De la începutul acestui secol au fost realizate o serie de progrese succesive în cunoașterea funcțiilor ficatului: formarea proteinelor în ficat (Kerr, Hurwitz și Whipple, 1918; Rose, 1937); formarea fibrinogenului (Doyon, 1905; Nolf, 1927); formarea protrombinei (Smith, Warner și Brinkhaus, 1937); transaminarea (Braunstein și Kritzmann, 1937), dezaminarea oxidativă (Krebs, 1932); stocarea protidică (Morawitz, 1906; Addis, 1936); metabolismul lipidic (Frazer, 1946); rezultatul experimental al hepatectomiilor (Mann și Magath, 1921; Bollmann și Mann, 1924—36; Warner, 1938). Aceste progrese succesive au permis punerea la punct a numeroase analize pentru aprecierea insuficienței hepatice (vezi pag. 834—835).

În numai cîțiva ani a fost descoperită natura virotică a numeroase ictere infecțioase și, în special, a icterului cataral, a cărui epidemicitate era cunoscută de mult timp.

În 1943, Liede, Meding și Luz au pus în evidență prezența virusului în sucul duodenal al bolnavilor, în prima zi a icterului. Camron (1943) inoculează unor voluntari sîngele bolnavilor în faza preicterică și obține astfel o transmitere umană a virusului icterigen. În 1944, Havens reproduce icterul la om folosind fecalele unor bolnavi de hepatită infecțioasă. Neefe și Stokes dovedesc, în 1945, prezența virusului în apa fîntînilor contaminate cu materiile fecale ale bolnavilor de icter epidemic. Findlay și MacCallum, Saayer și Mac Malthy diferențiază hepatita epidemică, a cărei transmitere se face pe cale hidrică, de hepatita serică, observată în urma pătrunderii virusului în organism cu ocazia unei transfuzii de sînge, de plasmă sau de ser, sau cu ocazia unor


1
2
3
4
5
Ek
En
6
7
8

57. SPORI ŞI POLENURI ACTUALE ŞI FOSILE



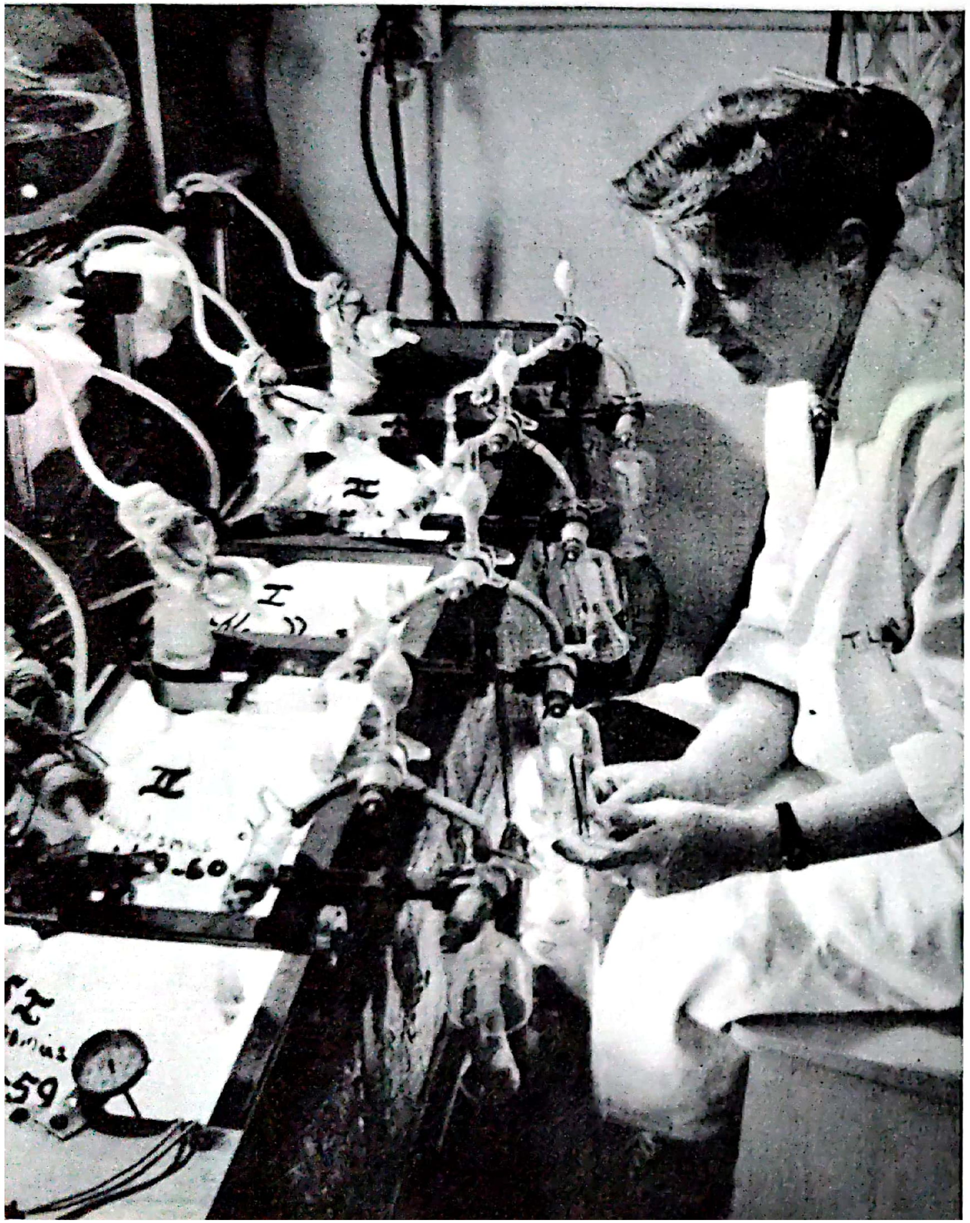
1

2

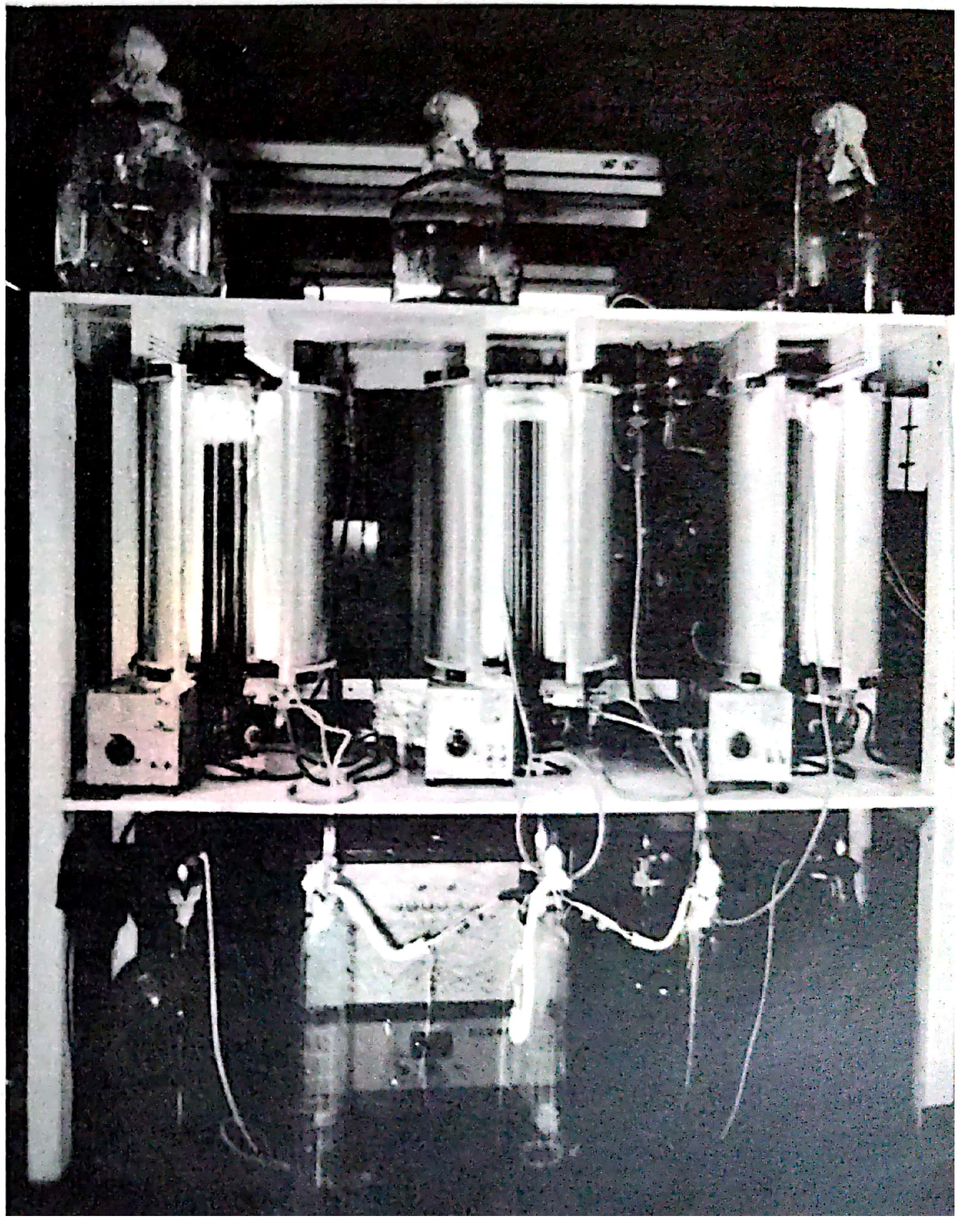
58. CLOROPLASTE LA CHARA. MODELUL MOLECULEI DE CLOROFILĂ

59. LABORATORUL DE FOTOSINTEZĂ DE LA BERKELEY

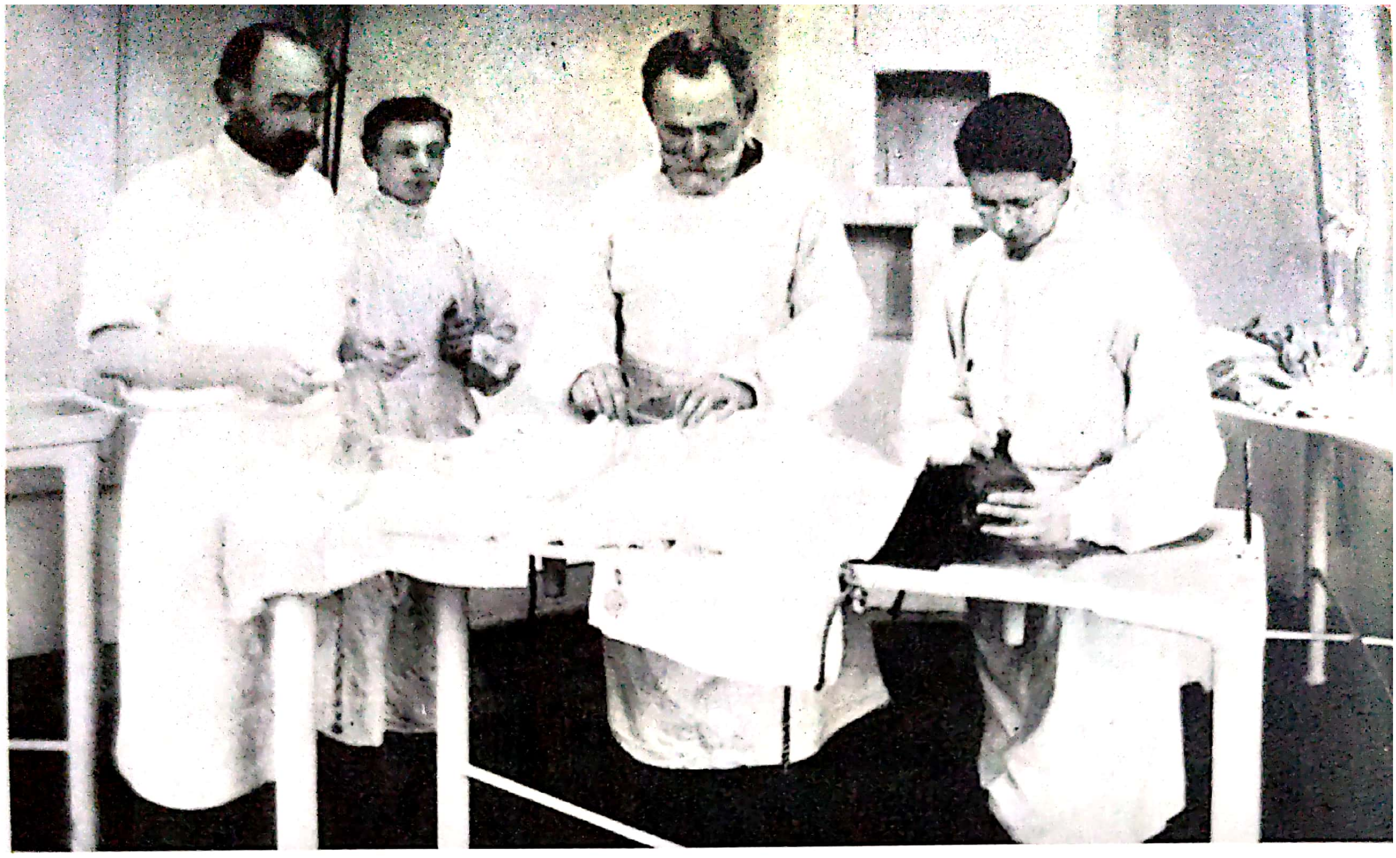
1



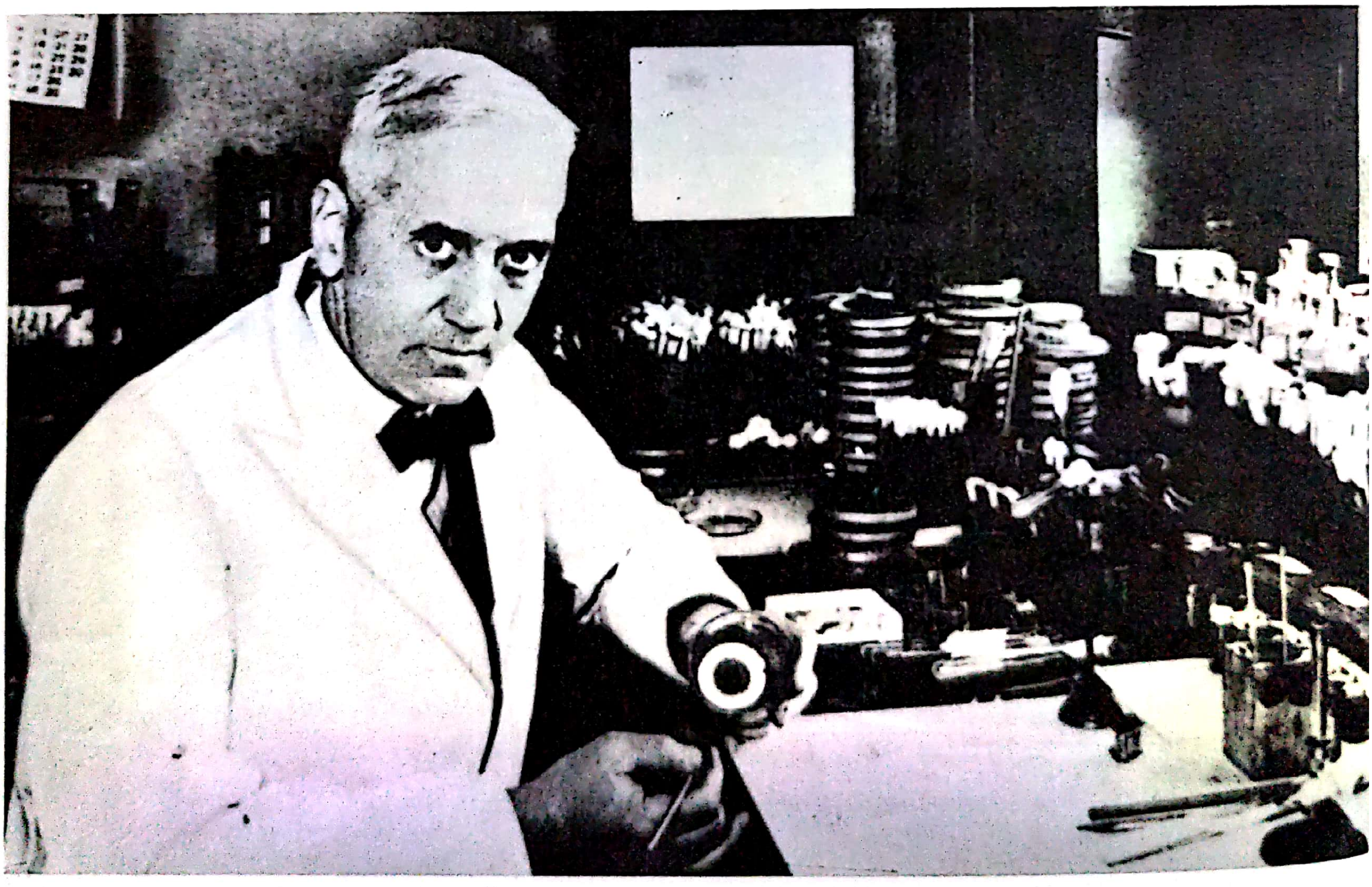
2



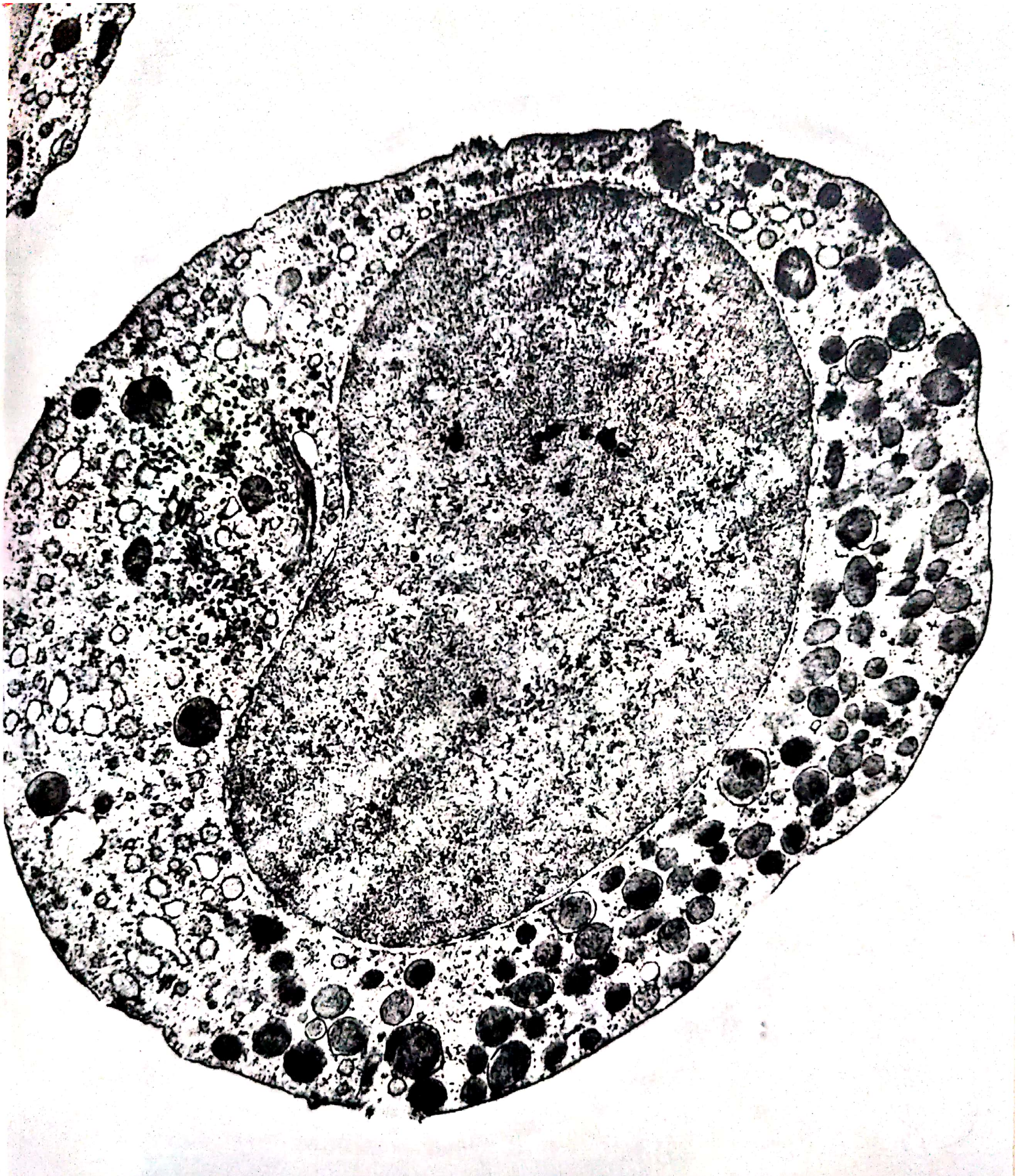
1



2

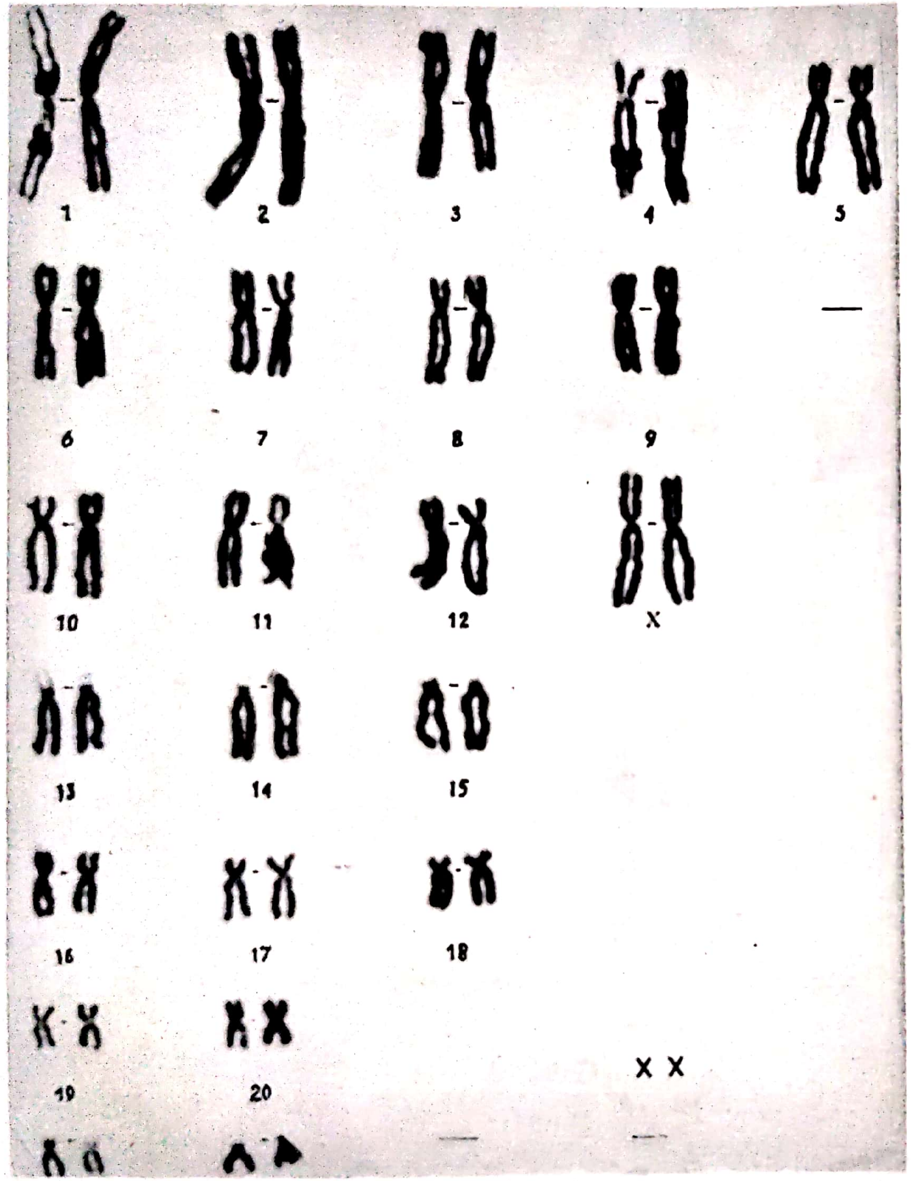


60. PAVLOV ŞI COLABORATORII SĂI. ALEXANDER FLEMING

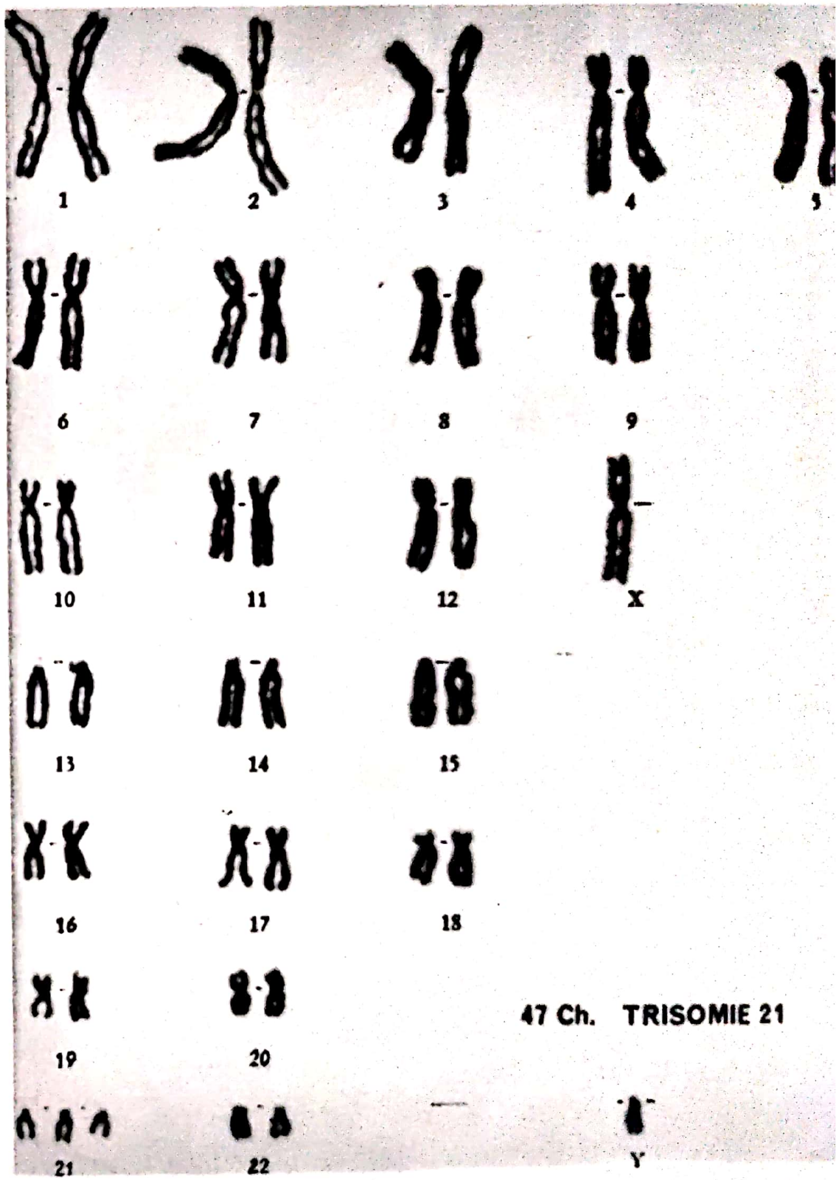


61. CELULĂ LEUCEMICĂ UMANĂ

1

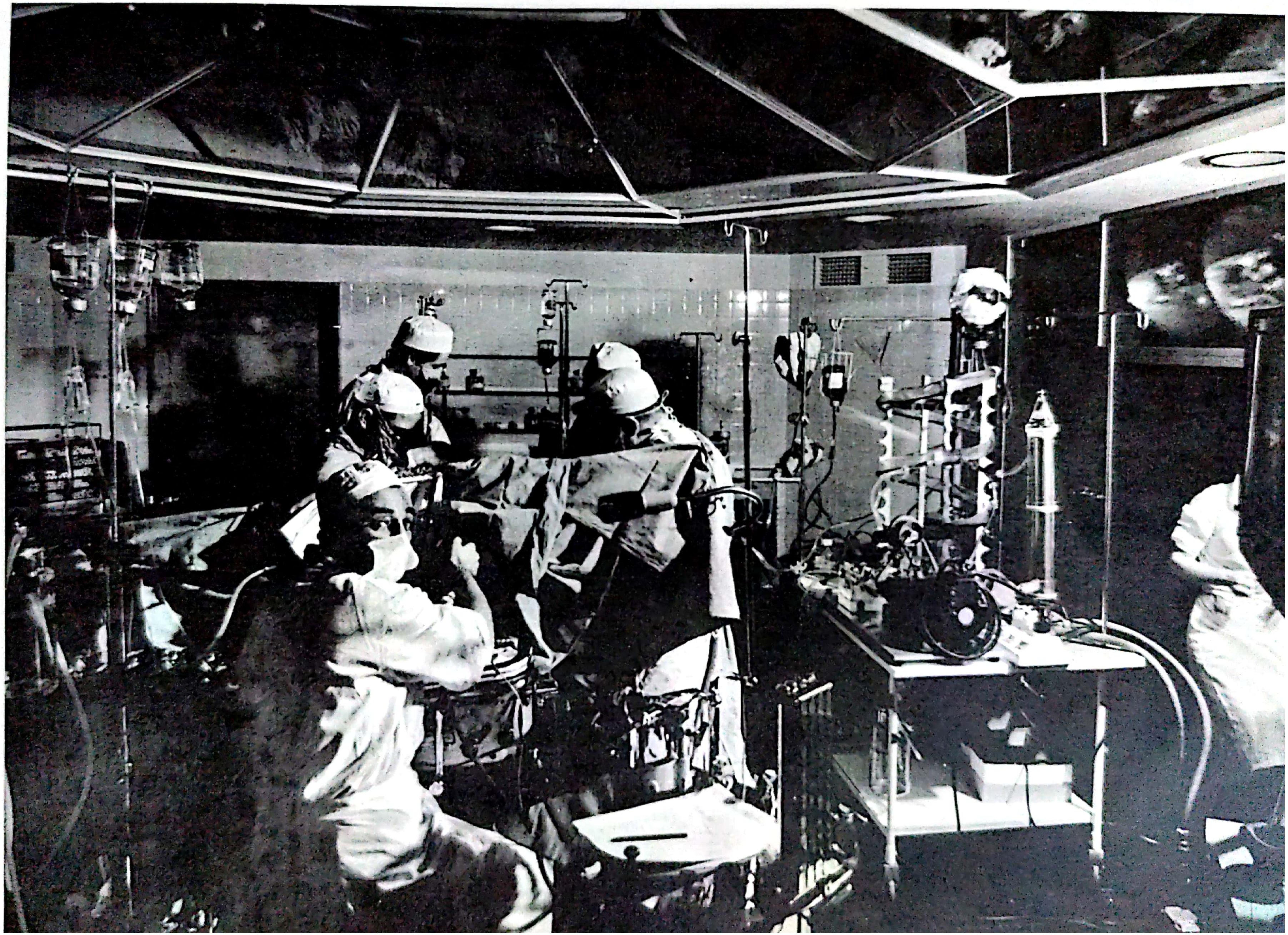

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
X
13
14
15
16
17
18
19
20
X X

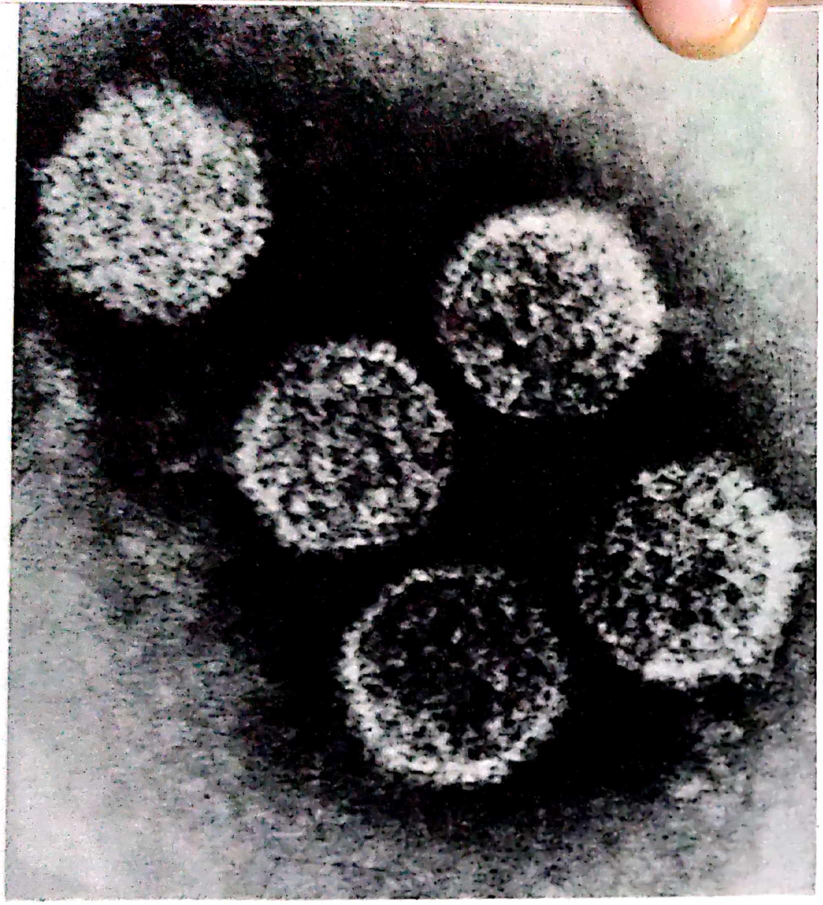
2


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
X
13
14
15
16
17
18
19
20
47 Ch. TRISOMIE 21
21
22
Y

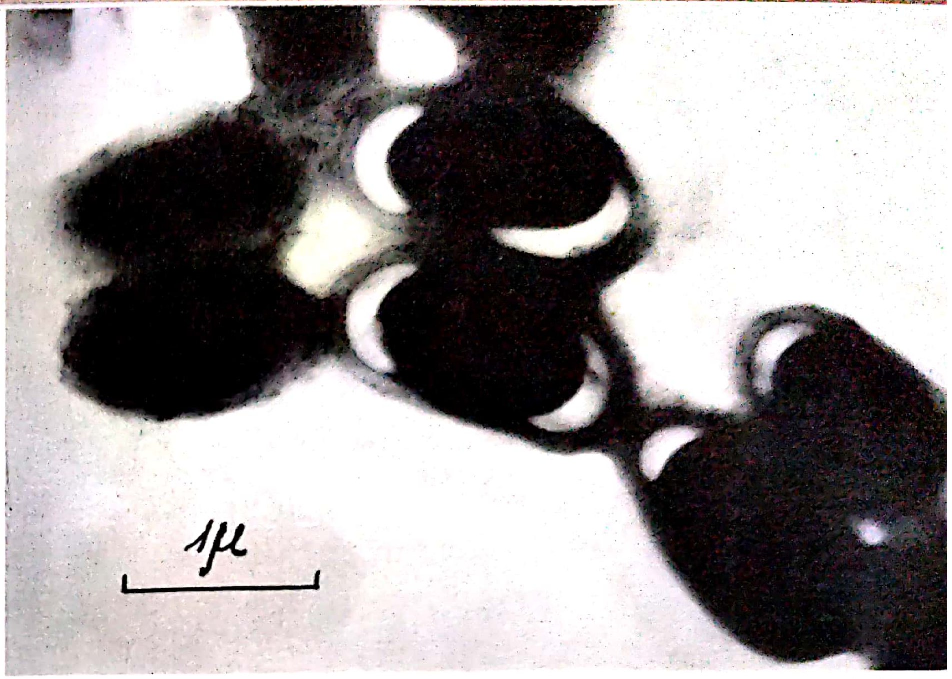
62. CROMOZOMI UMANI: TIP FEMININ NORMAL, TIP MASCULIN MONGOLOID

63. OPERAȚIE CHIRURGICALĂ MODERNĂ

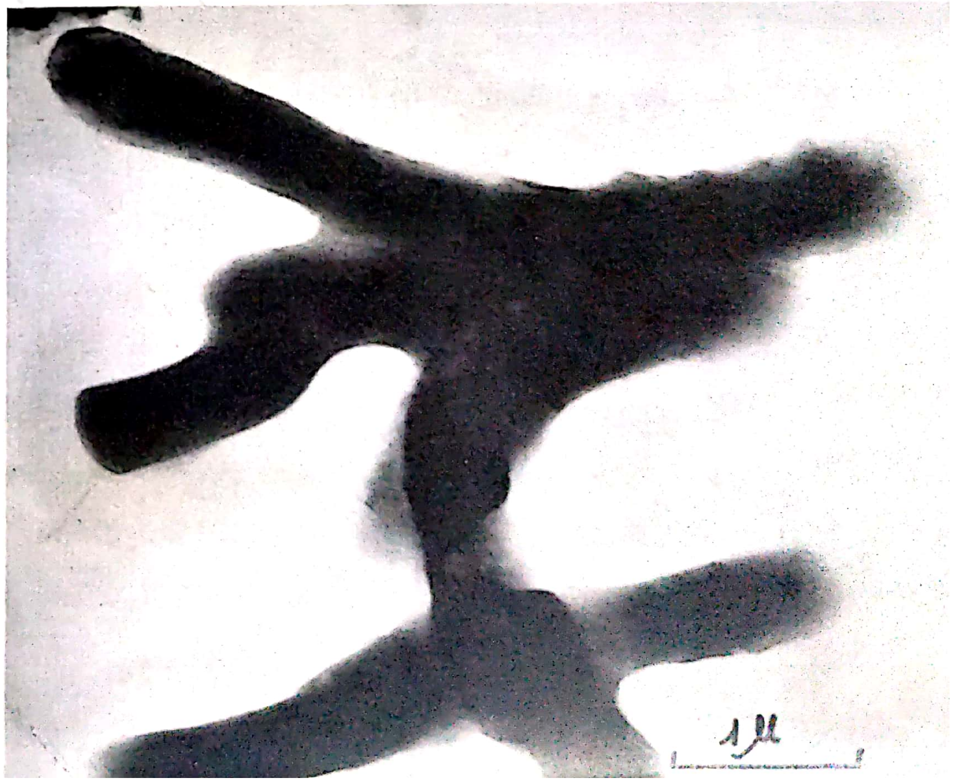




1



2



64. VIRUSURI ŞI BACILI

1. VIRUSUL HERPESULUI
2. BACILUL ANTRACOMORF
3. BACILUL DIFTERIC

tratamente parenterale colective. Cercetările lui Marchand (1895), Mallory (1911), Bergstrand (1928), Fiessinger (1929) şi Chabrol (1932) au permis cunoaşterea evoluţiei posibile a hepatitelor icterigene spre ciroză.

Una dintre realizările cele mai importante din ultimii ani este descoperirea rolului capital al carenţelor şi al dezechilibrelor alimentare în geneza a numeroase ciroze ale ficatului.

Cercetările experimentale ale lui Rich şi Hamilton (1940), ale lui Szent-Györgyi şi Goldblatt (1939) au dovedit că regimurile alimentare foarte sărace în protide şi în lipide sînt capabile să determine leziuni de ciroză, de steatoză şi de necroză hepatică.

Spellberg şi Keeton (1940), Coppo şi colaboratorii (1946) au obţinut aceleaşi rezultate cu regimuri care comportau o carenţă proteică şi un surplus lipidic. Cirozele alimentare umane, denumite tropicale, au fost şi ele studiate. Kwashiorkor-ul, boală descrisă pentru prima oară de E. Cofirno în America Centrală şi de C.D. Williams în Ghana (1935), este un sindrom carenţial infantil complex, în care domină lipsa de protide, ceea ce determină, pe lîngă steatoza şi scleroza hepatică, o discromie cutaneo-mucoasă. De curînd a fost pusă în evidenţă hepatita alcoolică iniţială preciroticā, caracterizată prin steatoză (Connor, 1938; Cachera şi colaboratorii, 1950).

Studiul radiologic al sistemului port a lărgit simţitor cunoştinţele noastre asupra mecanismului hipertensiunii şi stazei portale şi a contribuit la precizarea şi reformularea a numeroase noţiuni de patologie splenică, hepatică şi a vaselor porte.

La originea acestui studiu se află lucrările experimentale ale lui Abatici şi Campi (1951), care dovedesc că este posibilă, la cîini, opacifierea trunchiului splenoportal prin injectarea în parenchimul splenic a unor produse de contrast. În acelaşi an, Léger opacifiază pentru prima dată trunchiul splenoportal la om.

Dezvoltarea splenoportografiei transparietale şi punerea în evidenţă, pe radiografii, a varicelor gastroesofagiene reprezintă tot atîtea metode de explorare care au permis o mai bună cunoaştere a splenomegaliei fibrocongestive, reacţie obişnuită a splinei la o stază venoasă portală şi la o hipertensiune portală, manifestate în general printr-o hemoragie digestivă. La copil este vorba adesea de malformaţii portale congenitale stenozante, iar la adulţi, de ciroza ficatului.

Progresele tehnicii chirurgicale au readus la ordinea zilei şi hipertensiunea portală, confirmînd prin lucrările lui Blakemore, Lord, A.O. Whipple şi Blalock, valoarea terapeutică a anastomozelor porto-cave.

Datorită noilor metode de studiu al căilor biliare (Millizi: colangiografia aplicabilă fistulelor biliare externe, 1948; Caroli: radiomanometria biliară, combinînd cu perfuzia unui lichid opac luarea de clişee şi măsurarea presiunilor, 1940; G. Mallet: explorarea manometrică şi apoi radiologică a căilor biliare în doi timpi distincţi care se completează şi se controlează, 1946), litiaza biliară, veziculară şi coledochiană este mai bine cunoscută, iar tratamentul său a devenit mai complet şi mai eficace.

Descoperirea recentă cea mai importantă în patologia pancreatică este cea a fibrozei chistice a pancreasului (D. Andersen, 1938), denumită şi dispnee enterobronho-hepatică (Glanzmann, 1946), mucoză (Bodian, 1953) sau mucoviscidoză (Farber, 1954).

Două teste de explorare sînt deosebit de utilizate: testul sudorii (creşterea proporţiei de Cl şi de Na în sudoarea copiilor atinşi de această boală: Di Sant'Agnese, Darling şi colaboratorii, 1953) şi prezenţa tripsinei fecale, care este absentă în această boală (testul lui Schwachman, 1955); uneori se foloseşte şi testul iodurici provocate (Lelong şi colaboratorii, 1952), prin care se evaluează lipaza pancreatică, precum şi testul hiperaminoacidemiei provocate, prin care se determină cantitativ tripsina pancreatică (West, 1947).

Această boală pare a fi legată de o ereditate recesivă, are de obicei o evoluţie fatală, dar este foarte probabil să existe şi o serie de forme mai discrete şi poate vindecabile (Schwachman, 1957), mai ales în cazul formelor respiratorii.

Pancreatitele acute sau cronice rămîn greu de diagnosticat, deşi la stabilirea diagnosticului poate contribui studiul creşterii amilazuriei (Wohlgemuth, 1910) şi a amilazemiei.

Diagnosticul tumorilor pancreasului este înlesnit actualmente, într-o oarecare măsură, prin folosirea pancreatografiei, care face vizibil canalul lui Wirsung (Légar şi Lataste, 1952) şi prin tomografii ale pancreasului asociate cu retro-pneumoperitoneul (Vallebona, 1952).

J. BOLI DE NUTRIŢIE

La începutul secolului al XX-lea se cunoşteau puţine lucruri despre legăturile dintre sănătate şi nutriţie. Se ştia că deţin un anumit rol protidele, grăsimile, hidraţii de carbon (glucidele), ca şi unele săruri anorganice, dar nu mai mult. Se ştie acum că peste 40 de substanţe nutritive sînt indispensabile vieţii, în afară de necesităţile calorice.

Iniţial, cele mai mari controverse au fost cele referitoare la principalii factori energetici, nu ca purtători de calorii, ci ca factori specifici. În 1900, deşi se cunoşteau 13 aminoacizi, compoziţia exactă a materiei proteice era încă necunoscută. În 1935 au fost identificaţi alţi nouă aminoacizi. Încă din 1924, Osborne publicase primele tabele cu compoziţia proteinelor în aminoacizi[10].

Din anul 1900 începe controversa privitoare la necesităţile proteice ale omului, problemă care nici astăzi nu este elucidată.

Pe de o parte, americanul W.O. Atwater (1898) şi germanul M. Rulner (1902) acceptă vederile lui C. von Voit (1881), care preconiza circa 120 g de proteine pe zi. Dar suedezul Sivén (1900) şi americanul R.H. Chittenden (1904) menţin un echilibru azotat cu 25—30 g pe zi. Un consum mediu de 1 g de proteine pe zi pe kilogram ponderal este actualmente general acceptat. Acest aport se dovedeşte suficient pentru a conţine totalul necesităţilor calitative minime de aminoacizi indispensabili.

---

[10] Asupra acestui subiect a se vedea şi studiile lui A. Ihde (pag. 432) şi R. Kehl (pag. 616).

Organismul adult în echilibru azotat prezintă o remaniere continuă exprimată prin procese de distrugere şi de sinteză a materiei proteice, aşa cum a demonstrat-o utilizarea aminoacizilor marcaţi.

Una dintre principalele realizări privind cunoaşterea glucidelor, în afară de descoperirea revoluţionară a rolului insulinei, a fost mai buna cunoaştere a metabolismului intermediar. Organismul este capabil să producă glucoza, factor dinamogen, prin excelenţă pe seama glucidelor, lipidelor şi protidelor, produsul intermediar pierzîndu-şi identitatea originară.

Progresele analizei şi sintezei chimice au permis să se izoleze şi să se precizeze reacţiile anabolice şi catabolice ale substanţelor lipidice şi constituţia lor.

Încă în 1901, Magnus-Levi descoperă mecanismul sintezei pe seama lanţurilor cu doi carboni. Au fost identificaţi acizii graşi, colesterolul, gliceridele, lecitinele, sfingomielinele etc. În 1919, Terroine prezintă un punct de vedere fundamental, deosebind în metabolismul lipidic un element constant şi un element variabil. Primul se referă la lipidele tisulare cu o structură ce rămîne practic constantă: fosfolipidele, colesterolul şi esterii săi. Elementul variabil implică trigliceridele, al căror rol este, înainte de toate, energetic. Ele constituie rezervele de grăsime pe bază de acizi graşi saturaţi sau mononesaturaţi, depinzînd strict de raţie. Lipidele cu acizi graşi polinesaturaţi intervin mai ales în legătură cu necesităţile de creştere şi de reparare tisulară.

Metabolismul apei şi al principalilor electroliţi constituie obiectul a numeroase studii. S-a descoperit, printre altele, prezenţa obligatorie în raţie a magneziului (1915), zincului (1922), nichelului şi cobaltului (G. Bertrand, 1926), a cuprului şi manganului (1931) etc. Dar lista substanţelor nutritive indispensabile organismului era departe de a fi închisă şi o revoluţionare a cunoştinţelor a fost determinată de descoperirea vitaminelor (cf. pag. 834—839). A fost lămurit, de asemenea, şi rolul anumitor minerale.

Astfel, au fost puse în lumină raporturile dintre carenţa iodată şi guşă, dintre fluor şi prevenirea cariei dentare, dintre calciu şi tetanie. Deficitul azotat, carenţă dominantă a regimului de subalimentare şi foamete, îşi pune pecetea pe stările de denutriţie, le conferă gravitatea, provocînd edemul de foame, coma hipoglicemică, ciroza de nutriţie.

Bolile cunoscute ale nutriţiei, ca obezitatea şi guta, nu rămîn în afara progresului general.

În obezitate, rolul glandelor endocrine se dovedeşte a fi foarte secundar, cu excepţia obezităţii suprarenale din boala lui Cushing. Multe dintre obezităţi au drept cauză supraalimentarea monotonă. Există totuşi şi obezităţi constituţionale, ereditare, în care rolul hipotalamusului este important (lucrările experimentale ale lui Hetherington şi Ranson).

Dacă guta rămîne încă destul de misterioasă, lucrările lui Benedict, Forsham şi Stetten (1949), care au injectat acid uric marcat cu azot 15 în venele persoanelor atinse de această boală, au permis să se constate o creştere considerabilă a valorii „*pool miscible*", adică a cantităţii globale de acid uric în circulaţie, comparativ cu cea existentă la persoanele sănătoase. Dar problema factorilor responsabili de încărcarea organismului gutoşilor cu acid uric nu este încă rezolvată.

Diagnosticul de cistinurie trebuie evocat sistematic în orice litiază infantilă; el poate fi stabilit prin studiu chimic, cromatografic sau prin difracţia cu radiaţii X a calculilor, prin reacţia lui Brand (1935), a lui Sullivan, prin cromatografia bidimensională a urinii oxidate după tehnica lui Dent (1954). Acesta a demonstrat că cistinuria ţine de o anomalie a transferului tubular renal, după cum glicozuria ţine de diabetul renal (Govaerts şi Lambert, 1949; Debré, Royer şi Lestradet, 1956).

Nosologia s-a îmbogăţit cu o serie de stări morbide caracterizate prin supraîncărcări, în special reticulo-endoteliale, ale organismului. Boala lui Hand (1893), Schüller (1915), Christian (1919) a fost identificată cu o dislipoidoză colesterolică, boala lui Gaucher (1882), cu o boală a cerebrozidelor (1924); Niemann (1914) şi Pick (1926) au descris o dislipoidoză cu fosfolipide. Prin termenul de policorii, B. Debré indică un ansamblu de sindroame caracterizate prin acumularea unui metabolit normal în celulele specializate ale viscerelor: glicogenozele (1921), steatoza hepatică masivă (1930) etc.

ASPECTELE PREVENTIVE. Cunoaşterea tulburărilor pe care le generează alimentaţia deficitară sau insuficientă şi a mijloacelor de a le vindeca pe cele mai multe ar trebui să ducă la definirea bazelor unei raţii adecvate şi protectoare. În lumea destul de subalimentată din 1963, cînd mai mult de 600 milioane de copii nu mănîncă pe săturate, această cercetare este primordială.

Organizaţii internaţionale — cele ale Naţiunilor Unite (Organizaţia Mondială a Sănătăţii şi Organizaţia pentru Alimentaţie şi Agricultură), Fondul internaţional de ajutorare a copilului, Centrul internaţional al copilului etc. — insistă asupra importanţei problemei nutriţiei şi îndeamnă la căutarea de alimente noi şi la punerea la punct a unor alimente preparate în prealabil, al căror amestec armonios să pună la dispoziţia celor rău hrăniţi o raţie convenabilă, echilibrată şi ieftină.

Secolul al XX-lea a făcut din nutriţie, care la început era un capitol restrîns al fiziologiei, o ştiinţă autonomă şi bine consacrată, cu implicaţiile sale patologice: bolile de nutriţie şi imperativele lor preventive şi sociale de igienă alimentară. Acestea au devenit obiectul preocupărilor constante ale guvernelor şi naţiunilor.

L. PNEUMOLOGIE ŞI TUBERCULOZĂ

După descoperirea auscultaţiei de către Laennec, la începutul secolului al XIX-lea, afecţiunile aparatului respirator au constituit obiectul unei riguroase semiologii obiective. Dar abia în prima jumătate a secolului al XX-lea, contrastul natural dintre plămînii umpluţi cu aer, înconjurînd inima, şi mediastinul opac a permis constituirea unei semiologii radiologice din ce în ce mai precise. Există puţine organe pentru care să dispunem astăzi de procedee de examinare atît de obiective şi atît de riguroase datorită radiografiilor, tomografiilor, pneumomediastinurilor, angiopneumografiilor, bronhografiilor, asociate cu bronhoscopiile, pleuroscopiilor şi tehnicilor bacteriologice.

Patologia infecţioasă acută a aparatului respirator este de mult cunoscută în liniile sale mari, dar cunoştinţele noastre în această direcţie s-au precizat, s-au extins şi s-au modificat.

Acum abia 25 de ani, pneumopatiile acute infecţioase îi înspăimîntau — şi pe bună dreptate — atît pe bolnavi, cît şi pe medici: ameninţare mereu serioasă la adulţi, teamă adesea tragică la copilul mic, sfîrşit cvasinatural al bătrînului. Astăzi, un tratament de asalt opreşte evoluţia multora dintre ele, şi eficacitatea lui este atît de mare, încît bolnavul se vindecă uneori înainte ca medicul să fi putut întreprinde cercetări etiologice precise. Puţine sînt afecţiunile a căror evoluţie să fi fost atît de modificată de către antibiotice. Astfel, a devenit rar tabloul clasic de pneumonie francă lobară pneumococică acută.

În consecinţă, bronhopneumoniile sînt mai puţin frecvente şi mai puţin grave ca altădată.

Pneumopatiile supurative au devenit şi ele mai rare.

Dacă, datorită antibioticelor, multe abcese pulmonare se vindecă simplu, după o vomică, altele, în special abcesele putride, ar risca uneori să se cronicizeze, dacă n-am dispune astăzi, graţie lobectomiei sau segmentectomiei, de o terapeutică radicală, în măsura în care leziunile sînt îndeajuns de localizate.

Cunoaşterea stafilocociilor pulmonare este relativ recentă (Chickernig şi Park, 1919; Troisier, Bariety şi Brocard, 1936; Blumental şi Neukof, 1946).

Acestea se observă la orice vîrstă, dar sînt frecvente la sugar. Ele se traduc prin abcese pulmonare sau mai ales, la copiii mici, prin pneumopatii buloase şi se complică cu pleurezia purulentă şi cu piopneumotoraxul de extremă gravitate. Tratamentul a fost considerabil ameliorat datorită antibioticelor, dar el se dovedeşte adesea delicat, trebuind să fie atît general, cît şi local şi implicînd uneori ajutorul chirurgiei. Abcesele amibiene pulmonare, consecutive sau nu hepatitei amibiene, nu sînt excepţionale; ele necesită adesea asocierea tratamentului medical (emetină) cu intervenţii chirurgicale.

Pneumopatiile atipice, adeseori virale, constituie un capitol nou al acestei patologii (Gallagher, Bower, 1935; Kelner, Reimann, 1938; Finland, 1945), deschis de progresele radiologiei, serologiei, virologiei.

Alături de rolul infecţiei, în semiologia aparatului respirator a fost pus în evidenţă rolul, nu mai puţin important, al tulburărilor mecanice ale circulaţiei gazoase intrabronhice sau alveolare, caracterizate cînd prin absenţa ventilaţiei pulmonare, cînd prin insuficienţă pulmonară şi atelectazie, cînd prin aportul de aer sub presiune, cu dilatarea alveolelor, adică prin emfizem bulos.

Dacă problema atelectaziei pulmonare era discutată încă din secolul al XIX-lea, dacă în 1914 W. Pasteur descrisese deja atelectazia postoperatorie, abia cercetările lui Ch. Jackson au lămurit problema: acest autor demonstrează clinic şi experimental frecvenţa obstrucţiei bronhice, modalităţile, cauzele, rolul ei considerabil în patogenia atelectaziei şi a emfizemului (1917). Ulterior, numeroşi ftiziologi şi pediatri au studiat semnele şi cauzele tulburărilor ventilaţiei pulmonare. Lucrările anatomice ale lui Lucien (1936) asupra topografiei bronhice au precizat varietăţile de atelectazii observate pe radiografii, iar segmentarea pulmonară a putut fi schematizată. Au fost puse astfel în evidenţă frecvenţa bronşitelor circumscrise segmentare, realitatea dilatărilor bronhice consecutive unei tulburări de ventilaţie, importanţa obstrucţiilor şi stenozelor bronhice produse de corpi străini, a adenopatiilor şi a proceselor tumorale, importanţa înţelegerii pneumopatiilor buloase.

Patologia malformaţiilor aparatului respirator este la fel de bine cunoscută; chisturi pulmonare congenitale, plămîni polichistici cu complicaţii pneumotoraxice spontane şi recidivante (Kjaergaard, 1932). Se realizează, de asemenea, o mai bună cunoaştere a diferitelor dilataţii bronhice, congenitale sau nu, localizate sau generalizate, asociate (sindromul lui Kartagener). În această privinţă, descoperirea bronhografiei lipiodolate (Sicard şi Forestier) a jucat un rol decisiv.

Dilatarea bronhiilor, afecţiune cronică relativ frecventă, debutînd adesea la o vîrstă fragedă şi persistînd apoi toată viaţa, adeseori greu de suportat, nu este decît moderat şi trecător ameliorată cu antibiotice şi prin drenajul de postură. Cînd boala este greu tolerată, cel mai bun tratament este exereza lobară sau segmentară (Robinson, 1927; Tudor, Edwards, 1936), cu condiţia ca leziunile să nu fie prea difuze.

Bronhoscopia lui C. Jackson demonstrează că aşa-zisul cancer primitiv al plămînului este un cancer care se propagă în parenchimul pulmonar din aproape în aproape, ea permiţînd o clasificare a formelor lui histologice (epiteliom malpighian, cu celule mici şi cilindro-cubic atipic). Pneumoconiozele, silicoza, asbestoza sînt mai bine cunoscute datorită cuceririlor radiologice şi anatomice (Gardner, 1938; Policard, 1947).

Cunoaşterea tuberculozei pulmonare a fost revoluţionată în ultimii 50 de ani. La începutul secolului al XX-lea, cunoştinţele noastre în acest domeniu erau, desigur, solide: metoda anatomo-clinică (Laennec), natura infecţioasă a bolii (J. A. Villemin), descoperirea bacilului şi a tuberculinei (R. Koch), descoperirea leziunii pulmonare iniţiale (J. Parrot) însoţită de o adenopatie satelită. Această leziune se instalează, într-adevăr, mult mai des în plămîni, dar poate să-şi aibă sediul şi în intestin. Din aceste lucrări a decurs noţiunea de contagiozitate a tuberculozei, care comandă invazia tuberculozei iniţiale.

În 1916, Ranke a schematizat ciclul infecţiei tuberculoase umane în trei stadii: primo-infecţia, perioada secundară de durată variabilă, incluzînd sau nu localizări extrapulmonare, şi faza terţiară, în cursul căreia se dezvoltă tuberculoza ulcero-cazeoasă comună a plămînilor. Această schemă comportă prea multe contradicţii şi artificii pentru a fi admisă astăzi fără restricţii.

Tuberculoza pulmonară de primă invazie şi tuberculoza pulmonară terţiară sînt studiate azi cu minuţiozitate datorită tehnicilor radiologice, tomografice, bronhoscopice, bacteriologice şi biologice.

Menţionăm, îndeosebi, importanţa virajului reacţiilor tuberculinice pentru diagnosticul invaziei tuberculozei iniţiale şi pe care îl prezintă tehnicile moderne asociate cu clasica cutireacţie la tuberculină (C. Pirquet, 1907), cu intradermoreacţia lui Mantoux (1910), cu percutireacţia (Moro, 1908; Hamburger), cu timbrul tuberculinic (Kfouri) sau cu *patch test* (Vollmer).

Astăzi baciloscopia în lichidul recoltat prin tubaj gastric pe nemîncate (Meunier şi Bertheraud) este tehnica cea mai întrebuinţată. L. Bernard, R. Debré şi M. Lelong precizează modalităţile de contaminare în mediu familial şi fac cunoscută importanţa perioadei antealergice. Walgreen insistă asupra eritemului nodos, manifestare foarte caracteristică primei faze a infecţiei tuberculoase.

Se cunoaşte importanţa în cursul episodului pulmonar tuberculos iniţial a complexului radiologic ganglio-pulmonar şi a tulburărilor de ventilaţie prin lezare sau compresiune bronhică, precum şi frecvenţa fistulei ganglio-bronhice (Dufourt şi Mounier-Kuhn).

Semnificaţia epituberculozelor, a reacţiilor pulmonare perifocale, este astăzi privită sub un unghi critic nou, mai ales de cînd a fost pusă în evidenţă marea frecvenţă a leziunilor bronhice (Rossle, 1936; Sailer, 1940; E. Jones, T. Rafferty şi H.S. Willis, 1942; S. Graham şi Hutchinson, 1947). Toate aceste lucrări constituie cheia de boltă a concepţiei despre invazia tuberculoasă umană, ftizia nereprezentînd decît o redeşteptare îndepărtată a acesteia.

Această tuberculoză iniţială poate fi observată la orice vîrstă, atît la adult, cît şi la copil. Ea ameninţă să fie şi mai redutabilă la sugar, la care contagiunea este adesea masivă. Bacilul pătrunde de obicei în organism pe cale aeriană. Tuberculoza bovină joacă un rol restrîns în etiologia bolii umane, totuşi eradicarea tuberculozei bovine determină micşorarea frecvenţei infecţiei umane (Jensen). Este de la sine înţeles că acest tablou este profund modificat, că evoluţia devine mai rapid favorabilă, şi complicaţiile sînt evitate prin utilizarea antibioticelor şi a chemoterapiei; astăzi se admite că trebuie tratată cu insistenţă orice primoinfecţie tuberculoasă, chiar în absenţa semnelor clinice şi radiologice.

Tuberculozele miliare, caracterizate prin diseminarea leziunilor fine nodulare, au făcut obiectul unor importante lucrări.

Aschoff şi şcoala sa, Letalle şi Bezançon (1922), Hubschmann şi Arnold (1924) demonstrează că granulaţiile şi tuberculii miliari nu sînt diferiţi nici prin originea, nici prin topografia şi nici prin structura lor, ei reprezentînd aceeaşi leziune în două stadii diferite, o reacţie particulară parietoalveolară. Alături de granuliile acute, R. Burnard şi Sayé descriu, în 1924, granuliile reci. Miliarele hematogene, care complică cel mai adesea invazia tuberculoasă, ameninţă să se generalizeze şi să ducă la meningită tuberculoasă: ele au fost foarte bine studiate în anii din urmă, datorită faptului că sînt extrem de sensibile la noile terapeutici antituberculoase, ca dealtfel însăşi meningita tuberculoasă.

În faza tuberculozei pulmonare terţiare, infiltratele rotunde subclaviculare precoce ale lui Assmann (1922), Redeker (1926), focarele supraclaviculare precoce ale lui Simon (1926), leziunile excavate şi multe alte condensări sînt cu atît mai bine studiate, cu cît diagnosticul lor topografic, lobar şi segmentar, a devenit de o precizie surprinzătoare, datorită secţiunilor tomografice de faţă şi de profil.

Dar aspectele anatomo-clinice ale tuberculozei pulmonare s-au schimbat mult în zilele noastre, piesele operatorii au înlocuit piesele de autopsie, iar exerezele permit să se examineze acum nu numai fenomenele de extindere a leziunilor, ci şi procesele de involuţie şi de vindecare. Tuberculoamele pulmonare (descrise pentru prima oară de Jacobaeus şi Rey în 1921) au devenit fapte de observaţie mai curentă. Iar în urma tratamentelor chemoterapice ale excavaţiilor tuberculoase se observă acum caverne cicatriciale fibroase, curăţite, buloase, chistice, importante regresiuni sau adevărate cicatrizări (Canetti, 1954).

Multiplele observaţii efectuate după chemoterapie asupra unor leziuni tuberculoase cu localizări diverse le confirmă pe cele care se desprind din studiul leziunilor pulmonare terţiare: cicatrizarea leziunilor pulmonare provocate de invazia tuberculoasă contrastînd cu o regresie mult mai puţin accentuată a adenopatiilor (Mahon şi Ritchie, Debré şi Grumbach, 1955), reducerea fenomenelor exsudative şi congestive, refacerea ţesutului fibros în cazul leziunilor tuberculoase ale sinovialelor articulare, ale parenchimului renal şi ale tractului urogenital, modificări surprinzătoare ale leziunilor cerebromeningeale, în cazurile extreme ale meningitei tuberculoase, cînd moartea este doar întîrziată (Debré, Thieffry şi Brissaud).

Fizionomia tuberculozei pulmonare terţiare s-a modificat mult în ultimii ani. Examenele sistematice în colectivităţi (radioscopii, radiografii, radiofotografii) permit depistarea ei în faza latentă, înainte de manifestarea semnelor clinice; latenţa, gravitatea şi contagiozitatea bolii justifică din plin acest efort medico-social. Sînt puse astfel în evidenţă leziuni încă discrete, localizate, proaspete, sensibile la tratament.

A trecut timpul cînd împotriva tuberculozei pulmonare nu foloseam decît repausul. Pentru formele unilaterale, pneumotoraxul artificial, tehnică descoperită de Forlanini în 1888 şi ameliorată de Jacobaeus, care, în 1916, pune la punct endoscopia pleurală şi realizează secţionarea aderenţelor pleurale, care frînează eficacitatea colapsului şi ameninţă să favorizeze revărsatele pleurale şi perforaţiile pleuro-pulmonare. Astăzi, fie şi numai noile medicamente antituberculoase permit vindecarea unui mare număr de bolnavi, cu condiţia absolută de a se asocia un repaus complet şi prelungit. Pentru cazurile grave, aceste metode de tratament permit, datorită ameliorării stării generale şi locale, să se recurgă, cu un minim de risc, la colapsoterapie şi la metodele chirurgicale. Terapeutica bazată pe antibiotice a făcut să devină benignă executarea toracoplastiei şi a deschis calea, în condiţii de securitate aproape totală, a intervenţiilor actuale de exereză.

Dar dacă mortalitatea prin tuberculoză pulmonară a scăzut considerabil, morbiditatea tuberculoasă rămîne încă prea ridicată, cel puţin în Franţa. Prea multe persoane scapă examenelor sistematice, prea mulţi bolnavi consideră că boala lor este benignă, acordă o încredere absolută eficacităţii noilor medicamente, îşi reiau activitatea cu o grabă periculoasă, fără a fi vindecaţi, recidivează, devin adevăraţi tuberculoşi cronici şi răspîndesc infecţia în jurul lor.

M. NEUROLOGIE ŞI PSIHIATRIE

DEZVOLTAREA NEUROLOGIEI CLINICE. Neurologia clinică s-a constituit în cea de-a doua jumătate a secolului al XIX-lea, cunoscînd în acea perioadă un avînt decisiv datorită lucrărilor lui Charcot, Dejérine, Pierre Marie, Babinski. În cursul ultimilor 50 de ani ea s-a îmbogăţit în chip uimitor prin aplicarea procedeelor de explorare fizică, chimică, biologică, a tehnicilor neurofiziologice, a studiilor genetice.

Prima jumătate a secolului al XX-lea a fost martora apariţiei şi dezvoltării simptomatologiei şi diagnosticului afecţiunilor neurochirurgicale ale creierului şi măduvei prin lucrările lui W. E. Dandy, Penfield şi Gros, H.W. Cushing, P. Bailey în S. U. A., W. Macewen şi V. Horsley în Anglia, Clovis Vincent şi Th. de Martel în Franţa. Studiul tumorilor cerebrale nu pune astăzi probleme insolubile, deoarece tratamentul neurochirurgical a transformat, din fericire, perspectivele multora dintre aceşti bolnavi.

Patologia vasculară cerebrală este şi ea mai bine cunoscută.

Cercetările anatomo-clinice ale lui Foix şi ale elevilor săi (1923—27) au clarificat, cu o remarcabilă precizie, vascularizarea cerebrală. Dar mai ales arteriografiile cerebrale au deschis un nou capitol al patologiei, făcînd cunoscute anevrismele, angiomele şi alte tumori vasculare ale creierului (E. von Hippel, Lindau, Sturge, Weber, Krable) şi demonstrînd că multe dintre hemoragiile meningeale se datoresc unor malformaţii vasculare cerebrale. Dealtfel, stabilirea diagnosticului a numeroase neoformaţii intracerebrale se bazează foarte mult pe arteriografiile cerebrale.

EPILEPSIILE. Problema atît de dificilă a precizării naturii şi etiologiei epilepsiilor a fost transformată, în cazuri din ce în ce mai numeroase, datorită informaţiilor furnizate de tehnicile moderne, şi în primul rînd de electroencefalografie.

Epilepsia denumită esenţială, considerată pînă acum cîţiva ani ca o nevroză, este definită astăzi printr-o dezordine specifică a ritmurilor electrice ale creierului, a căror constatare ne permite să punem în legătură cu aceeaşi boală unele forme latente fruste şi să urmărim modificările lor, sub influenţa tratamentelor aplicate (Gibbs şi Lennos, 1936; Gasper şi Kershman, 1949). Tehnica electroencefalografică îngăduie astăzi definirea unor forme particulare ale bolii, precum „le petit mal“ (Penfield), forme localizate, motrice, bravais-jacksoniene, senzitive, senzoriale, temporale (Gibbs-Penfield).

ENCEFALITELE. În domeniul encefalitelor legate de procesele infecţioase, cunoaşterea sindroamelor clinice, epidemiologia, propagarea, mai ales prin intermediul animalelor domestice (cal, cîine, oaie) şi existenţa unor gazde intermediare (rezervoare de virusuri) printre insecte, în sfîrşit, cunoaşterea anumitor virusuri au adus medicinii multe elemente noi.

Encefalita letargică, apărută în 1915 în România, apoi în Franţa, a fost studiată la Viena de C. Economu, căruia îi poartă numele, iar în Franţa de Cruchet şi A. Netter. Pînă în 1926 au apărut epidemii în diferite părţi ale lumii, apoi, în mod misterios, boala a dispărut. N-a fost descoperit nici un virus specific. Tabloul clinic, foarte caracteristic, legăturile cu sughiţul epidemic, miocloniile, sechelele parkinsoniene, simpatice şi psihice, au interesat şi instruit mult pe medici. De această boală foarte deosebită se apropie encefalita din Saint-Louis — epidemia din 1932 — cînd Mackenfuss şi alţi autori au izolat (1933) un virus; purtătorii sînt, între alţii, anumite insecte din genul *Culex*. Encefalita japoneză, care a afectat numeroase persoane, se datoreşte unui virus; ea a fost studiată de Hayashi (1934), Kasahara şi Kawamura (1936); vom mai cita şi encefalita australiană, encefalomielita ecvină care infectează omul, encefalita de primăvară din U.R.S.S., coriomeningita lui Armstrong (1934) etc.

Acestui capitol i se adaugă encefalitele consecutive unor boli infecţioase comune, cum sînt rujeola, rubeola, varicela şi mai ales encefalita postvaccinală, care constituie, pe bună dreptate, un obiect de emoţii şi de studii, ca şi de numeroase ipoteze patogenice.

POLIOMIELITA. Dintre toate bolile neurotrope (Levaditi, 1929), cea care a reţinut mai mult atenţia este poliomielita anterioară acută epidemică, numită şi paralizia infantilă sau maladia lui Heine-Medin.

Cunoscută datorită unor studii fundamentale din secolele al XVIII-lea şi al XIX-lea (Heine, 1840; Medin, 1890), epidemiologia ei a fost bine studiată în Suedia (Wickman, 1907), iar inocularea la maimuţă, realizată la Viena, în 1909, de către Landsteiner şi Popper (1909); punerea în evidenţă a anticorpilor din ser (Netter şi Levaditi, la Paris), cultura virusului pe ţesuturi (J.F. Enders, cu F. Robbins şi T. Weller, la Boston, 1948), fabricarea vaccinului (Salk-Sabin, în Statele Unite) şi metodele terapeutice (plămîn de oţel şi aparate respiratorii) marchează principalele etape ale descoperirilor. Aici ne vom opri asupra elementelor istorice principale în legătură cu etiologia şi clinica.

Proprietăţile fizice şi chimice ale virusului au fost îndelung studiate.

Un aspect esenţial îl constituie diferenţierea de tipuri (D. Bodian, 1949 etc.), denumite astăzi tip I, II, III, în loc de Brunhilde, Lansing şi Leon (1951). Acestor studii primordiale li se adaugă cele prin care au fost descoperite virusuri înrudite, capabile să producă paralizii şi poate să se asocieze cu virusul poliomielitei (virusul Coxsackie, G. Dalldorf, 1948), repartizate pe mai multe tipuri, determinînd, în general, o angină epidemică specială (angina-herpetică), puseuri febrile efemere, pleurodinii, mialgii amintind boala lui Bornholm şi meningite „aseptice", analoage celor produse de virusul poliomielitei (Finlay, 1950; Melnik, 1951 etc.).

Epidemiologia poliomielitei a constituit obiectul unor studii foarte minuţioase pe întregul glob pămîntesc.

Admirabila descoperire a lui Enders, Robbins şi Weller a permis să se izoleze milioane de virusuri, şi, drept urmare, identificarea lor, în timp ce capacitatea neutralizantă a serurilor de diferite tipuri a făcut posibile aceste studii, fără a se mai recurge la inocularea pe maimuţă, ci utilizînd culturi pe ţesuturi vii. Au fost astfel demonstrate răspîndirea virusului în regiunile puţin locuite, persistenţa anticorpilor timp de foarte mulţi ani la foştii bolnavi, importanţa deosebită şi precocitatea (la sugar şi la copilul mic) a infestării inaparente, mai ales în ţările calde, contaminarea simultană a membrilor unei aceleiaşi colectivităţi, raritatea formelor paralizante în raport cu numărul considerabil al purtătorilor de germeni, prezenţa virusului în rinofarinx (la unul din doi bolnavi) şi în fecale (în mod constant). Discuţiile rămîn încă deschise asupra modului de propagare: calea de propagare nazală (virus aerian, ca în rujeolă), calea digestivă (virus răspîndit manual sau prin infecţie alimentară). Apariţia subită şi dramatică a anumitor epidemii masive sau a unor focare epidemice dispersate este încă destul de puţin elucidată.

Clinica a progresat şi ea, datorită observaţiilor recente: durata incubaţiei, modalităţile debutului, simptomele cerebrale, importanţa durerilor iniţiale, caracterele lichidului cefalorahidian, frecvenţa formelor înalte cu diferite tipuri de tulburări respiratorii (R. Debré şi S. Thieffry). Au fost precizate importanţa formelor meningeene neparalitice (A. Netter) şi caracterele lor.

Alături de acest grup morbid se situează polioencefalitele, şi în special poliradiculonevrita diseminată (Guillain-Barré, 1917). Se include aici şi ansamblul leucoencefalitelor, la care mielonecroza se asociază uneori cu o reacţie inflamatorie, ca în scleroza în plăci acută (Marburg, 1904), neuromielita optică (Devic, 1894), boala lui Schilder-Foix (1925), leucoencefalita sclerozantă subacută a lui van Bogaert (1943), cu sindroame atît de caracteristice. Dacă istoria encefalomielitelor rămîne încă plină de incertitudini pe multe planuri, putem spera că progresele viitoare ale virologiei şi ale studiului schimburilor metabolice vor clarifica acest capitol încă obscur al neurologiei.

INVESTIGAŢII BIOFIZICE ŞI BIOCHIMICE. Investigaţiile electroencefalografice s-au complicat nu numai datorită înmulţirii continue a electrozilor pentru explorarea de suprafaţă, ci şi datorită tehnicilor de analiză preferenţială, de numărătoare automată, de autocorelaţie, de vizualizare toposcopică, de derivaţii în profunzime orientate stereotaxic, astfel că, bizuindu-se pe aceste progrese, biofizicienii au reuşit să propună o interpretare electrică a întregului mecanism nervos şi mintal. R. Lorente de No, W. S. Mac Culloch, W. R. Ashby şi Grey Walter (1950), promotorii îndrăzneţei cibernetici, asimilează centrii nervoşi cu circuite electrice autoguvernate, pe care le construiesc sub forma unor automate şi roboţi. Scurtcircuitele, panele, subordonarea sau rebeliunea acestor servomecanisme la semnalul care le condiţionează sînt asimilate de aceştia cu tulburările nervoase ale creierului uman, şi anume cu nevrozele experimentale de condiţionare.

În timp ce biofizicienii propun o interpretare electrică a influxului nervos, biochimiştii demonstrează în mod strălucit rolul perturbaţiilor mediatorilor chimici în patologia cerebrală şi mintală. Ereditatea, atît de importantă în patologia nervoasă, îşi întredeschide unele din misterele ei.

Følling (1934) individualizează un tip de arieraţie mintală legată de tulburarea metabolismului fenilalaninei transmisă ereditar. Progresele chimiei hormonale explică anumite psihoze endocriniene, ca psihozele hiperfoliculinice sau puerperale. Studiul biochimic al afecţiunilor musculare se dovedeşte de pe acum plin de promisiuni, punînd în evidenţă o scădere a procentului de creatină şi de compuşi fosforaţi în cursul miopatiilor (Schapira, 1949). Testul de prostigmină nu este oare dovada unei acţiuni farmacodinamice specifice şi decisive la nivelul joncţiunii mioneuronale, normalizînd în cîteva clipe contracţia musculară grav perturbată a miastenicului? O jumătate de miligram de prostigmină injectată pe cale musculară face să dispară complet pseudoparalizia miastenică (M.B. Walker, Viets).

Metodele biofizice şi biochimice au devenit preţioase pentru explorarea neurologică şi pentru explorarea psihiatrică.

DEZVOLTAREA PSIHIATRIEI. Evoluţia ştiinţifică a psihiatriei este, cel puţin în Franţa, inseparabilă de opera lui Th. Ribot, care a imprimat un spirit experimental unei întregi școli de psihologi și de medici: A Binet și P. Janet (1859—1946), G. Dumas și Ch. Blondel.

Principala cucerire a medicinii psihologice este de a fi deplasat problema inconștientului pe planul psihologic și de a o fi abordat prin metode experimentale, în mare parte datorită lucrările lui J. M. Charcot (1825—1893) și școlii de la Salpêtrière asupra isteriei, care au permis dezvoltarea hipnozei și cunoașterea psihanalizei.

Pornind de la aceste lucrări, Sigmund Freud (1856—1939) descoperă dinamismul inconștientului și creează metoda de tratament prin psihanaliză. El demonstrează importanța inconștientului în viața psihologică, în general, apoi în simptomele isterice și, puțin cîte puțin, în toate nevrozele și psihozele. După părerea lui, forțele inconștientului sînt constituite atît din forțele libidinale ale sexualității, cît și din toate instinctele, care se organizează în complexe caracteristice.

Freud și școala sa, prin descoperirea importanței inconștientului în formarea nevrozelor, au jucat un rol esențial în concepția asupra ființei umane și a psihismului său. Anumite teorii ale lui Freud au fost revăzute de elevii săi: A. Adler, care a insistat îndeosebi asupra sentimentelor de inferioritate și a compensării lor; C. G. Jung, care a pus în valoare inconștientul colectiv și importanța factorilor culturali în problemele psihologice.

Explorînd rolul inconștientului în viața psihică, psihanaliza a devenit, treptat, un arbore al cunoașterii, cu ramificații în toate activitățile spiritului; dar alte metode decît psihanaliza sînt utilizate astăzi în psihopatologie: metodele fenomenologice (K. Jaspers); lucrările școlii de reflexologie (I. P. Pavlov), punînd accentul pe factorii psihologici în nevroze, dar pornind de la mecanisme pur asociative.

În ultimii ani, cercetările s-au orientat către factorii sociali ai nevrozelor, ca expresie a unui conflict între tendințele individului și constrîngerile grupului (Malinovski; M. Mead).

PSIHIATRIA COPILULUI. Această disciplină, care a debutat cu adevărat în secolul al XX-lea, se leagă atît de pediatrie, psihologie, neurologie, cît și de sociologie și pedagogie.

Nu numai că psihiatrul de copii poate fi pus în situația de a îngriji un bolnav mintal, dar, mai mult încă, el trebuie să urmărească dezvoltarea motrice, mintală și afectivă a copilului și, prin sfaturile sale, să-i ajute pe părinți și pe educatori. În acest scop, el trebuie să considere în mod constant copilul în relațiile sale umane.

A. Binet și Th. Simon (1905) stabilesc, printr-o serie de probleme ce trebuia rezolvate, primele „teste“ care vor preciza nivelul de inteligență al unui copil.

Aceste teste explorează judecata, memoria, atenția, la diferite vîrste. La început, ele aveau ca scop să identifice elevii care nu puteau urma ritmul școlar normal. Din aceste examinări au derivat numeroase metode care încearcă să exploreze nivelul de inteligență: testele lui Terman, al lui Wechslev-Bellevue, al lui Termann-Merill, al lui Binet-Simon, corijat de Zazzo (1949) etc. Testele care ajută în mod curent la precizarea inteligenţei unui copil, în ce priveşte forma sa, concretă sau abstractă, şi intensitatea atenţiei sale, aduc un mare serviciu, de exemplu în problemele şcolare.

Alte metode de explorare, mai analitice, permit să se aprecieze mai degrabă aptitudinile copilului şi ale adolescentului decît nivelul său; este vorba de numeroasele teste utilizate în centrele de orientare profesională.

În urma lucrărilor lui Binet şi Simon, A. Gessel a studiat, în Statele Unite, dezvoltarea copilului în primii trei ani.

Aceste cercetări au fost întreprinse de Gesell la Yale (New Haven), timp de 20 ani, punînd copilul în prezenţa unor obiecte simple (cuburi, mingi) şi analizînd simultan motricitatea sa, percepţiile vizuale, tactile, înţelegerea sa. Astfel au fost stabilite teste care permit în special să se aprecieze mai bine dezvoltarea motrice, psihică şi senzorială a copilului.

Paralel cu aceste cercetări copilul a fost studiat în ce priveşte comportarea sa.

În Franţa, Henyer este primul care a studiat comportamentul copilului, iniţial sub aspectul său sociologic; într-adevăr, cercetînd delincvenţa infantilă, atenţia sa a fost foarte repede atrasă asupra copilului în totalitatea lui, în viaţa sa familială, socială, afectivă.

Afectivitatea copilului a fost studiată mai ales de şcoala psihanalitică şi de elevii lui Freud.

S-au întreprins numeroase lucrări asupra lipsei îngrijirii materne şi a abandonului afectiv la vîrsta fragedă (1949—50); R. Spits, în Statele Unite, a studiat internarea în creşe, apoi Anne Freud şi Bowlby, la Londra, M-me Aubry, în Franţa, analizează consecinţele abandonului afectiv, ale internării şi ale bolilor la copilul de vîrstă fragedă. Ei demonstrează cît de mult stimularea afectivă din partea mamei are o valoare unică şi de neînlocuit. Aceste studii au o foarte mare valoare practică, ele modificînd multe aspecte ale igienei mintale în creşe şi ale plasării în familii a copiilor foarte mici.

Conflictele afective ale copiilor au fost abordate de întreaga şcoală psihanalitică.

La Londra, A. Freud şi M. Klein sînt cei mai importanţi şefi de şcoală. Prin cunoaşterea primelor fantasme ale sugarului (teama de sfîşiere şi devorare), M. Klein a adus o contribuţie importantă la cunoaşterea afectivităţii primilor ani.

G. Gardner, Mrs. Rank, L. Despert şi toată şcoala analitică americană au analizat comportarea copilului nevrozat şi atins de psihoze. P. Male, S. Lebovici, R. Diatkine, J. Favreau au întreprins studii asupra vieţii afective a copilului şi a fantasmelor sale. Toate aceste eforturi au permis o mai bună înţelegere a conflictelor care pot da naştere la tulburări de comportament sau la tulburări funcţionale.

Medicina psihosomatică a fost dintotdeauna una dintre preocupările esenţiale ale pediatrului; mai mult decît oricare alt medic, el este chemat să urmărească pe copil în dezvoltarea sa şi, mai mult ca oricare altul, el cunoaşte dizarmoniile dezvoltării lui, surse frecvente ale unor simptome; mai mult decît oricare alt medic, el trebuie să urmărească copilul şi în relaţiile sale afective, familiale şi şcolare.

Tulburările de apetit, anorexia, voma, bulimia, diareea, tulburările somnului, enurezisul sînt simptome pentru care pediatrul trebuie zilnic să dea sfaturi mamelor şi care, pentru el, adesea sînt clar înscrise într-un conflict afectiv. Tot pediatrul va şti să adopte atitudinea potrivită în momentul unei intervenţii chirurgicale în legătură cu infirmităţile congenitale sau cu o boală, ca poliomielita, pentru a se evita traumatismele afective. R. Debré a studiat — cu Mozziconacci, J.J. Alloiteau şi A. Doumic — tulburările apetitului (1950), apoi, în 1959, tulburările somnului.]

ŞCOLARITATEA. Psihiatrul de copii s-a preocupat mult în secolul al XX-lea de problema copilului în faţa şcolarităţii.

Tulburările de dominare (stîngăcie pronunţată sau nu), asociate mai mult sau mai puţin cu tulburări motorii şi cu tulburări ale reprezentării spaţiului, au permis punerea în evidenţă a anumitor dificultăţi şcolare, ca dislexia şi disortografia. Au putut fi create astfel, în Franţa, centre de reeducare şi de reabilitare şcolară, corelate cu învăţămîntul primar şi secundar (Centrul Claude-Bernard, 1948; Centrul de învăţămînt primar: C. Launay, 1950); ele au încercat să facă faţă problemelor psihologice şi afective descoperite în cursul şcolarităţii.

Interesul considerabil arătat copilului în secolul al XX-lea se reflectă în numărul centrelor de „îndrumare", care permit ajutorarea copilului în problemele sale familiale şi sociale. Mai mult încă, se pare că unul dintre scopurile şcolilor psihiatrice care se ocupă de vîrsta copilăriei este de a face educaţia psihologică a marelui public. Cercurile de părinţi din anumite servicii de consultaţii ale spitalelor, şcoala părinţilor, numeroase conferinţe şi filme au contribuit să-i facă pe educatori conştienţi de problemele psihologice ale copilului.

N. BOLILE INFECŢIOASE

După evocarea progreselor realizate în cunoaşterea infecţiilor cu virusuri neurotrope (cf. p. 872) le vom semnala pe cele privitoare la anumite boli infecţioase. Începînd de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, bacteriologia, născută din descoperirile lui Pasteur, era gata constituită şi va fi de ajuns să indicăm perfecţionările recent înregistrate în această disciplină. Progresele considerabile ale virologiei îi asigură acesteia un mare rol de viitor printre ştiinţele medicale, descoperirea şi identificarea bolilor virotice fiind doar la început.

Încă în 1914, Schottmüller demonstrează că starea septicemică nu este legată de înmulţirea excesivă a microbilor în sînge, ci rezultă din migraţia, permanentă sau discontinuă, a noi şi noi microbi provenind dintr-un focar septic. Acest focar primitiv, localizat adesea în interiorul unei vene, îşi poate avea sediul pe endocardul unei valvule, pe un perete arterial sau într-un ganglion limfatic.

Lucrările lui T. R. Brown (1915) au permis o clasificare a streptococilor bazată pe modificările mediilor cu sînge; lucrările lui Lencefield (1928) şi

F. Griffith (1926—35) au dus, pe baza studiului antigenic al germenilor, la identificarea unor tipuri diferite de streptococi hemolitici.

Dintre streptococii hemolitici din grupa A, cea mai răspîndită în patologie, au fost astfel inventariate 40 de tipuri bine definite. Dintre numeroşii constituenţi difuzabili ai germenului, E.W. Todd descrie în 1939 streptolizina O; el studiază reacţiile imunologice ale organismului infectat, izolează anticorpii antibacterieni circulanţi, printre care şi antistreptolizina O, şi pune la punct o metodă de dozare a acestei substanţe, metodă de mare importanţă practică şi care se foloseşte curent în clinică.

Lucrările lui G. F. Dick şi G. R. Dick (1924—25) demonstrează că scarlatina este o angină cauzată de un germen producător de toxină eritrogenă la un subiect sensibil. Aceste lucrări sînt confirmate în 1924 de A. H. Stock, care izolează, pornind de la filtrate de streptococi scarlatinoşi, o toxină proteinică, aparent identică cu substanţa eritrogenă.

Datele imunologice, studiile epidemiologice (R. M. Alwater, 1927; M. W. Wilson, 1935—40; J. R. Paul, 1943) stabilesc că infecţia cu streptococi hemolitici din grupa A joacă un incontestabil rol declanşator în reumatismul articular acut (M. Mc Carty, 1956). Se pare că reumatismul este expresia clinică a hipersensibilităţii la un streptococ ce persistă în organism şi joacă rol de antigen un timp îndelungat.

Eficacitatea tratamentului profilactic al reumatismului a adus o confirmare decisivă acestor diverse argumente; s-a demonstrat, de fapt, că utilizarea profilatică a medicamentelor antibacteriene, mai ales penicilina, previne recidivele şi că tratarea faringitei streptococice cu antibiotice poate împiedica apariţia reumatismului articular acut (M.Fr. Hamburger şi H.M. Lemon, 1946; B.F. Mussell, 1946—48; J.W. Hofer, 1949; W. Elias, A.H. Price şi H.J. Merrian, 1951; P. Mozziconacci, 1957).

Eficacitatea curativă şi profilactică a penicilinei în lupta contra scarlatinei a transformat evoluţia şi epidemiologia acestei afecţiuni şi a adus o altă confirmare decisivă a naturii sale streptococice.

Publicaţiile lui George şi Giroire (1926), A. Lemierre şi colaboratorii săi (1926—27) au făcut cunoscută stafilococia malignă a feţei, iar lucrările lui Grisel (1911), spondilita stafilococică. Dar descoperirea lui Fleming a răsturnat evoluţia clinică a stafilococilor.

Totuşi, dacă stafilocociile grave sînt astfel vindecate, stafilococii devin tot mai rezistenţi la penicilină, alte antibiotice trebuind s-o înlocuiască. Odată cu apariţia tulpinilor rezistente, boala stafilococică a cunoscut o dezvoltare pe care n-a mai avut-o niciodată; ea devine deseori extraordinar de tenace (Barber, 1948; Forber, 1949; Martin şi Sureau, 1950).

În 1911, Widal şi colaboratorii săi descriu tabloul definitiv al septicemiei cu perfringens şi stabilesc natura hemolitică a icterului. În anul următor, Schumn şi Hegler confirmă această patogenie. În 1921, Tessier şi elevii săi prezintă un studiu de ansamblu al septicemiei cu bacili fundibuliformi, cel mai adesea postanginoasă, contra căreia penicilina se va dovedi atît de eficace.

Lucrările experimentale efectuate de Reilly şi şcoala sa (1934) demonstrează că febra tifoidă este o septicemie şi chiar mai mult, o toxiinfecţie. Endotoxina tifică, a cărei natură a fost precizată prin lucrările lui Boivin (1942)[11], joacă într-adevăr un rol major în geneza bolii, datorită neurotropismului său. Aplicarea cloramfenicolului în această boală, în 1948, avea să-i modifice cu totul aspectul clinic şi evolutiv.

Lucrările lui Boivin şi L. Corre (1942), ca şi cele ale lui F. Kauffmann (1944) au demonstrat frecvenţa, în ce priveşte originea gastroenteritelor infantile, a colibacililor denumiţi „patogeni", ale căror combinaţii de antigeni sînt atît de variate, încît s-a ajuns să se dea tulpinilor denumiri constînd din combinaţii de litere şi numere (111 B4, 26B6, 55 B5).

Această terminologie nu trebuie să dea de înţeles că celelalte tipuri de *Escherichia coli* nu ar mai fi patogene, fiindcă, de fapt, unele dintre ele pot fi răspunzătoare de infecţii grave şi, îndeosebi, de meningite supurante. Bacteriologia toxiinfecţiilor alimentare, cunoscută încă de la sfîrşitul secolului trecut, odată cu descoperirea bacilului Gaertner (1883) şi a bacilului Aertrycke (1898) sau *Salmonella typhimurinum*, s-a dezvoltat în ultimii 50 ani, astfel că, în 1944, G.S. Wilson şi A.A. Miles enumerau mai mult de 40 de salmonele. Bacilul paratific B şi bacilul Aertrycke sînt răspunzători de cea mai mare parte a salmonelozelor observate, cel puţin, în Franţa (Verge şi Drieux). Uneori trebuie incriminat rolul anumitor tulpini de stafilococi care secretă o enterotoxină. În toate cazurile, diagnosticul se bazează pe examenul fecalelor, coprocultura pe medii speciale (Muller-Kauffmann, Kristensen-Kauffmann, S. Chapmann), pe probe de aglutinaţie şi pe teste de fermentaţie.

Puţine modificări a suferit tabloul tusei convulsive. Clinica s-a îmbogăţit totuşi cu descrierea unor pneumotuse convulsive (J. Marie şi Sée, 1942) şi cu studiul radiologic al plămînului bolnav de tuse convulsivă (Smith, 1927; R. Debré, 1939).

Istoria descoperirii leptospirozelor a început în 1915, prin descoperirea de către Inada şi Ido a unei spirochete *(Leptospira icterohoemorrhagiae)* în ficatul unui cobai căruia i s-a inoculat sîngele unui bolnav atins de icter infecţios recidivant.

Se cunosc astăzi mai mult de 40 de specii de leptospire patogene pentru om. Amintim că au fost izolate: *Leptospira grippotyphosa* (Tarasoff, 1932), *Leptospira canicola* (Schüffner şi Klarenbeck, 1931), *Leptospira pomona* (Gsell, 1937). Epidemiologia acestor afecţiuni, a căror răspîndire este mondială în cazul leptospirozei ictero-hemoragice, a fost minuţios studiată. Serodiagnosticul, preconizat pentru prima oară de L. Martin şi A. Petit (1919), este metoda cea mai utilizată pentru diagnosticul diferitelor leptospiroze.

Boala „ghearelor de pisică" sau limforeticuloza benignă de inoculare a aşteptat mijlocul secolului al XX-lea pentru a fi descrisă.

---

[11] Unele dintre aceste lucrări au fost elaborate încă din perioada în care André Boivin a funcţionat ca profesor de chimie biologică la Facultatea de medicină din Bucureşti şi ca şef de secţie la Institutul „I. Cantacuzino", avînd drept colaboratoare pe Lidia Mesrobeanu. — *G.B.*

Foshay (1945) este primul care, fără să publice vreo lucrare, a individualizat boala prin descoperirea intradermoreacţiei cu ajutorul antigenului preparat de Hangeo şi Rose. În 1947, Foshay a încredinţat un eşantion din antigenul său lui R. Debré, care studia de mult această afecţiune şi o descrisese primul. P. Mollaret şi J. Reilly au întreprins studii paralele (1950).

Lucrările lui R. Degkwitz (1927) şi T.Taniguchi (1935) au demonstrat că rujeola este cauzată de un virus. La fel şi rubeola. Aceste două virusuri sînt cultivate de Enders (1962).

În 1942, Habel reproduce această ultimă boală prin inocularea la *Macacus mulatta* a secreţiilor nazale sau a sîngelui prelevat de la bolnavii atinşi de rubeolă, apoi prin inocularea de virus cultivat pe membrană corialantoidiană de embrion de pui. Virusul rubeolei determină embriopatii cînd afectează oul în primele săptămîni ale dezvoltării sale. Aceste embriopatii dau naştere la cataracte, surdităţi, cardiopatii (N.Mc. Alister Gregg, 1941). Se cunosc acum gravele repercusiuni ale bolii, cînd ea afectează o femeie însărcinată de mai puţin de 3 luni.

Boala citomegalică a incluziunilor nou-născutului este o altă embriopatie de actualitate.

Prima sa descriere anatomică a fost publicată în 1904 de Jesionek şi Kiolemenoglu, care au găsit celulele mari cu incluziuni în rinichii, plămînii şi ficatul unui nou-născut mort. Aspectul citopatologic (Goodpasture şi Talbot, 1921) sugerează acţiunea unui virus. În 1947, D.F. Cappell şi N.M. MacFarlane au dat prima descriere clinică a bolii. Proba diagnosticului poate fi furnizată prin descoperirea în urină a celulelor gigantice cu incluziuni (G.H. Fettermann, 1952). În 1956, M. Smith reuşeşte să cultive virusul bolii pe fibroblaşti umani. De atunci cultivarea şi serologia pot contribui la precizarea diagnosticului.

Virusul herpesului a fost individualizat în 1913 de Gruter.

Sînt puţine afecţiuni care să se bucure de reputaţia de a fi atît de benigne ca herpesul. Totuşi acest virus, în aparenţă inofensiv, poate provoca la nou-născut o septicemie virală în cursul căreia localizarea hepatică este cea mai frecventă şi cea mai semnificativă (G.M. Hass, 1935; W.W. Zuelzer şi C.S. Stulber, 1952; J.J. Quilligan şi J.L. Wilson, 1951; R.C.B. Pugh, 1954; A.L. Florman, 1952). Ca frecvenţă şi gravitate, localizarea meningo-encefalică se situează după precedenta. Cu toate că probele virologice şi serologice sînt indispensabile în oricare diagnostic de herpes, prezenţa în organele afectate, şi mai ales în ficat, a unor zone răspîndite de necroză, cu incluziuni intranucleare acidofile mari este destul de caracteristică pentru a putea pune acest diagnostic cu o certitudine aproape absolută.

Marile etape ale istoriei descoperirilor privind rikettsiozele încep în 1909, la Tunis, cu descoperirea — de către Ch. Nicolle, Comte şi Conseil — a transmiterii tifosului istoric sau exantematic prin păduchele de corp.

În 1916, E. Weil şi A. Felix descoperă remarcabilul test de diagnostic care este aglutinarea anumitor germeni din genul proteus de către sîngele pacienţilor atinşi de rikettsioză, test pe cît de preţios, pe atît de puţin explicat. Agenţii patogeni ai febrei butonoase mediteraneene, ai tifosului istoric, ai tifosului murin, ai febrei purpurice din Munţii Stîncoşi, ai febrei purpurice sud-americane au fost puşi succesiv în evidenţă. Reacţiile de deviere a complementului sînt descrise de Plotz în 1942. Lucrările cele mai recente sînt consacrate mai ales căutării unor metode comode de „cultură" a rikettsiilor pentru punerea la punct a serodiagnosticului specific şi pentru prepararea unor vaccinuri omorîte (Weigl, 1930; P. Durand şi P. Giroud, 1940; H.R. Cox, 1942). Acţiunea antibioticelor modifică foarte mult evoluţia rikettsiozelor şi determină cel mai adesea o vindecare rapidă, cu condiţia ca administrarea lor să nu întîrzie mult.

În 1937, E.H. Derrick a izolat pentru prima oară o afecţiune observată la indivizi care lucrează în abatoare, la agricultorii care vin în contact cu vitele mari, apoi printre lucrătorii din laboratoare. În acelaşi an, F.M. Burnet şi M. Freeman izolează agentul producător al bolii, o *rikettsie*, căreia Derrick îi dă (1939) numele de *Rickettsia burneti;* boala, cu răspîndire mondială, este cunoscută sub numele de febra de Queensland. Serodiagnosticul şi reacţia de deviere a complementului permit să se pună cu uşurinţă diagnosticul acestei afecţiuni care se manifestă prin febră şi are, adesea, aspectul unei pneumonii atipice.

Identificarea mononucleozei infecţioase este de dată relativ recentă. Sprunt şi Evans (1920) sînt primii care au propus termenul de „mononucleoză infecţioasă" pentru o afecţiune asupra căreia N.F. Filatov, E. Pfeiffer şi Turk prezentaseră unele observaţii.

În 1928, P. Chevallier grupează sub denumirea de „adenolimfită acută benignă cu leucocitoză moderată şi mononucleoză puternică" o serie de manifestări morbide care păreau să aibă aceeaşi etiologie. În 1932, Paul şi Bunnell semnalează existenţa unor modificări serologice care contribuie la individualizarea unei boli specifice şi care sînt folosite astăzi în mod curent pentru diagnostic. P.J. Wissing (1942), pe de o parte, şi R. Sohier, P. Lépine şi V. Sautier (1942), pe de alta, transmit omului şi maimuţei o infecţie avînd caractere care îi îndreptăţesc să admită inoculabilitatea bolii şi intervenţia probabilă a unui ultravirus în determinismul său. Asemănările clinice şi hematologice cu leucoza acută sînt aproximative, iar diagnosticul diferenţial între cele două afecţiuni este astăzi evident.

Printre afecţiunile parazitare există una a cărei cunoaştere n-a fost realizată decît în prima jumătate a secolului al XX-lea: toxoplasmoza.

Descrierea parazitului, *Toxoplasma gondii*, datează de la Charles Nicolle şi L. Manceau, care în 1908 l-au descoperit la gondi, un mic rozător folosit în laborator. Multă vreme studiul său n-a depăşit experimentarea pe animale, deşi, încă în 1928, Levaditi, frapat de asemănarea dintre toxoplasmoza animală şi anumite cazuri de encefalită infantilă cu protocoale de autopsie sugestive (Janku, 1923; Torrès, 1925), îi invitase pe clinicieni să treacă la verificarea ei. Abia în 1939, A. Wolf, B. Cowen şi D. Paige au demonstrat existenţa toxoplasmozei umane. De atunci observaţiile s-au înmulţit în toate ţările, datorită mijloacelor de diagnostic rezultate din cercetările biologice dominate de numele lui A. Sabin, Feldman şi Frenkel. În Franţa, primele cazuri au fost studiate de M. Lelong, Le Tan Vinh şi G. Desmonts (1948).

Cînd toxoplasmoza atinge o femeie însărcinată, nou-născutul riscă să prezinte semne de encefalomielită acută sau un tablou de icter grav repede mortal. La adult infecţia toxoplasmică prezintă adesea forme febrile ganglionare, cutanate, pulmonare şi cu precădere simptome fruste şi atenuate. Două metode sînt actualmente considerate ca fiind valabile pentru diagnostic: reacţia de fixare a complementului şi dye-testul lui A. Sabin şi Feldman (1942).

O. CANCERUL

Cancerul a devenit una dintre marile probleme medicale ale secolului al XX-lea. Misterul originii şi naturii sale, legăturile sale cu leucozele, ineficacitatea noilor mijloace utilizate pentru a-l combate — cu toate că unele dintre ele sînt remarcabile, — anumite raporturi între această boală şi evenimentele dramatice ale istoriei moderne, ca bomba atomică de la Hiroshima, faptul că frecvenţa sa absolută creşte în mare parte odată cu îmbătrînirea populaţiilor, ca şi frecvenţa sa relativă, legată de o mai bună cunoaştere şi de descreşterea pericolului infecţios, sînt explicaţii ale interesului major pe care lumea modernă îl manifestă faţă de această cauză capitală de suferinţe şi de moarte. Contrar virologiei, cancerologia a marcat progrese în prima jumătate a secolului al XX-lea, nu în domeniul diagnosticului, al prevenirii, al extinderii cunoştinţelor clinice, ci în domeniul etiologiei şi al patogeniei, datorită unei serii combinate de noi constatări la om şi la animalele de experienţă. Pînă la urmă, cele două domenii — atît de depărtate prin efectele lor patologice la om, cancerologia şi virologia — se întîlnesc astăzi datorită anumitor experienţe şi tehnici comune, cum ar fi cultura de ţesuturi.

Mai ales pentru a demonstra exactitatea unei anumite ipoteze, sau a alteia, capabilă să explice geneza cancerului, specialiştii au adus în domeniul lor fapte noi şi importante; astfel, pornind de la concepţiile asupra patogeniei, putem arăta progresele realizate.

Fără îndoială că o serie de studii valoroase despre celula şi ţesutul canceros, structura lor chimică, patrimoniul lor enzimatic, acţiunea lor metabolică, cultura lor, mitozele, în sfîrşit, despre transformarea malignă spontană a celulelor normale cultivate (Earle, Gey şi Sanford) şi despre posibilitatea grefei de cancer (Hanau, 1889; Morau, 1891; Loeb, 1901; Jensen, 1903) au făcut o vie impresie. Condiţiile de reuşită a grefei, comportamentul cancerului grefat şi mai ales importantele fenomene de inoculare au făcut obiectul unor serii experimentale de mare valoare. Totuşi, mai ales descoperirile cu privire la influenţele fizice, chimice, parazitare, virale sau influenţa eredităţii, nutriţiei şi hormonilor sînt demne de a fi reţinute.

Teoria iritativă şi inflamatorie, cunoscută de mult în legătură cu influenţa fizică a luminii, a căldurii, a leziunilor cronice infecţioase, cu cicatricele lor, a fost reînnoită prin descoperirea radiaţiilor cancerigene.

Începînd cu primele radiodermite din secolul trecut s-au putut provoca la animale (Clunet, 1910) cancere cu ajutorul radiaţiilor X; aceste lucrări au fost confirmate de B. Bloch în 1924, apoi de Jonkhoff (1927), Lacassagne şi Vincent (1929), Ludin (1934), Furth (1936). Acţiunea substanţelor radioactive este semnalată pentru prima oară în 1924 de către un dentist, Th. Blum, la un muncitor care manipula radiu; în 1931, Martlana arată că o cantitate de 1/100 mg de bromură de radiu repartizată pe totalitatea scheletului este suficientă pentru a provoca în mod sigur un osteosarcom. La rîndul său, toriul a fost curînd clasat printre agenţii cancerigeni. Experienţele lui M. Guérin, Roussy şi Guérin (1933—34) sînt concludente şi au fost apoi confirmate şi completate de numeroşi autori. Aceste fapte ar trebui să reţină atenţia medicilor, ei utilizînd destul de des torostrastul, care rămîne în organism pe toată viaţa.

De fapt, este un lucru demonstrat că toate substanţele radioactive şi toate acţiunile radioelectromagnetice sînt cancerigene. Acesta este faptul capital ce rezultă din studiile recente.

Ce mari progrese s-au realizat în cunoaşterea substanţelor chimice cancerigene de la descrierea cancerului coşarilor (Percivall Pott, 1775)! Din 1916 pînă în 1921 se situează lucrările lui Yamagiwa şi Ichikawa despre producerea cancerului de către gudron; puţin după aceea, Murphy şi Sturm obţin cancere la distanţă de regiunea gudronată. Aceste descoperiri au dus la „descoperirea senzaţională“ (Oberling) a carburilor cancerigene.

S-a precizat treptat (Ross şi Cropper, 1931; B. Bloch şi Dreyfuss, 1931; Dellman, 1922; Maisin, 1923) că proprietăţile cancerigene ale gudronului sînt legate de anumite fracţiuni. Kennaway şi colaboratorii săi (1930), J.W. Cook (1932) constată că există multe substanţe cancerigene.

Din acel moment, rolul carburilor cancerigene a fost abordat într-un număr foarte mare de studii (rol local, acţiune la distanţă, condiţii favorabile sau defavorabile), care deschid noi orizonturi.

Strînsa înrudire chimică existentă între carburile cancerigene şi grupul de steroizi reprezintă deopotrivă o descoperire neaşteptată şi o achiziţie esenţială a medicinii moderne (Oberling).

Dintre steroli se plasează pe primul plan hormonii corticosuprarenali şi hormonii sexuali.

De aici rezultă o serie de constatări capitale: prevenirea cancerului mamar la şoarece prin extirparea ovarelor (Loeb, 1919), producerea cancerului mamar de către hormonul estrogen (Lacassagne, 1932), iar drumul deschis prin cele dintîi descoperiri de cancere determinate sau inhibate de hormoni a şi început să fie parcurs cu rezultate importante.

Odată cu aminele aromatice este pus în evidenţă un nou grup de substanţe cancerigene: galbenul de unt (kinosita), arsenicul, albastrul de tripan, cromul, plumbul etc. Astăzi se caută elementul comun al acestor substanţe şi modul lor de acţiune.

Pornindu-se de la aceste cercetări, a fost îndelung studiat la om (Doll şi Hill, 1950; Schreck, Baker, Ballard, Dolgoff) cancerul fumătorilor; alimentaţia a fost şi ea incriminată la om (corpi graşi încălziţi în care intră carburi cancerigene şi steroli). Sînt studiate cancerele umane legate de secreţiile hormonale, precum şi, dimpotrivă, acţiunea inhibitoare a hormonilor în cancerul mamar, ovarian, testicular, prostatic.

Idei noi, experienţe fructuoase, terapeutici utile, acesta este bilanţul muncii cercetătorilor care se dedică studiului substanţelor chimice — inclusiv al hormonilor — cu acţiune cancerigenă şi anticancerigenă. Dar un factor capital favorizează sau împiedică acţiunea substanţelor cancerigene, ereditatea.

Cunoscută de mult la om, aceasta a fost mai bine studiată (gliomul retinei, polipozele maligne ale intestinului etc.) şi, mai ales, a fost obiectul a nenumărate experienţe. Maud Slye a obţinut pentru prima dată tulpini animale pure cu cancer şi altele fără cancer.

Răsunetul acestor studii a permis să se constate, după numeroase cercetări, că ereditatea este în asemenea cazuri o ereditate de teren sau de constituţie.

Dealtfel, s-a ajuns, în general, la acceptarea tezei lui Oberling, că, la om, factorii exogeni independenţi de ereditate joacă un rol mai important decît aceasta, aşa cum prevăzuse A. Borrel, care susţinea cu pasiune că, de fapt, cancerul se datoreşte unui virus inoculat de către un parazit.

Fibiger şi şobolanii săi infectaţi cu *Spiroptera*, consideraţi ulterior drept şobolani prezentînd carenţe; Dunning şi Curtis (1946), cu larvele de tenie; C. Bonne şi Sandgrung (1936), cu tumorile parazitare ale maimuţei n-au făcut decît să demonstreze influenţa posibilă a unui virus introdus de către parazit. În 1910, F.P. Rous reuşeşte să transmită, prin filtrat, un sarcom al găinii, apoi un osteocondrosarcom şi un angiosarcom.

Ideea unei transmiteri virale s-a impus, ea fiind punctul de plecare a nenumărate cercetări de toate felurile. Sarcoamele filtrabile ale păsărilor au fost puse în legătură cu leucemiile aviare, cu eritroblastomele găinii, cu papilomul cancerigen al iepurelui, cu cancerul mamar al şoarecelui şi cu diferite tumori la animale transmisibile prin filtrat (Ellermann şi Bang, 1908; Ch. Oberling, M. Guérin şi mulţi alţii).

Teoria virală se bazează pe existenţa unor virusuri cancerigene, fiind actualmente susţinută cu tărie şi servind ca ipoteză de lucru pentru numeroşi cercetători.

După cum se vede, cancerologia modernă constituie o întreagă lume de studii, este dătătoare de speranţe şi oferă de pe acum, chiar în domeniul terapeutic şi profilactic, date preţioase.

P. COLAGENOZELE

În 1942, P. Klemperer, A.D. Pollack şi G. Baehr au aplicat termenul de boli ale colagenului unor afecţiuni acute sau cronice foarte diferite din punct de vedere clinic, dar pe care alteraţiile histologice comune le legau unele de altele: leziuni situate în ţesutul conjunctiv, constînd dintr-o degenerare fibrinoidă a colagenului. Această metamorfoză fibrinoidă a colagenului avea să servească drept bază şi criteriu de grupare unui întreg grup de afecţiuni destul de disparate: lupusul eritematos şi sclerodermia, reumatismul articular acut şi periarterita noduroasă, poliartrita cronică evolutivă, dermatomiozita.

Lupusul eritematos diseminat a fost primul inclus în conceptul de boli ale colagenului.

El se caracterizează prin tulburări biologice şi umorale foarte speciale. Descoperirea celulei L.E, de către Hargraves, H. Richmond şi Morton de la *Mayo Clinic*, în 1948, în măduvă, apoi în sînge le periferic al bolnavilor (D. Sundberg și Luck), punerea în evidență a factorului L.E. plasmatic, provocînd apariția de celule L.E. prin punerea în evidență a heparinei plasmatice a bolnavului cu sîngele periferic normal (Moffat, Barnes și Weiss) au oferit diagnosticului două criterii biologice valoroase.

Lupusul eritematos comportă manifestări cutaneo-mucoase foarte particulare și o incidență viscerală cu prognostic sever. Analiza leziunilor histologice permite ca necroza fibrinoidă să fie considerată drept o consecință a acțiunii factorului L.E. plasmatic, strîns fixat de gamaglobulină; după părerea unora, factorul ar fi un anticorp antimezenchimatos și ar avea o semnificație imunologică (Keemperer).

Sclerodermia se prezintă sub două mari aspecte: fie slerodermia edematoasă, observată mai ales la copil și avînd o evoluție adesea favorabilă; fie sclerodermia progresivă, cu debut sclerodactilic, cu generalizare progresivă, cu evoluție cronică și care pare a fi apanajul adultului.

În această a doua formă a bolii se observă cu precădere localizări viscerale (inimă și rinichi), dintre care unele sînt comune celorlalte colagenoze; proliferarea conjunctivă determină o scleroză considerabilă, dar alterările histologice sînt apropiate de cele ale dermatomiozitei, afectarea musculară nefiind o excepție.

Polimiozitele și dermatomiozitele (formele acute ale lui Wagner, 1863, și Unverricht, 1891; formele cronice, Petges și Clejat, 1906) se limitează, în majoritatea cazurilor, la leziunile musculare și cutanate care le condiționează.

Diagnosticul lor este astăzi înlesnit de către electromiogramă (afectarea musculară primitivă) și biopsia musculară (miozita degenerativă și limforagiile). Nu este totuși posibil să se diferențieze întotdeauna prin examen histologic o polimiozită de o sclerodermie complicată cu leziuni musculare (Tourraine).

Bolilor colagenului li se alătură alte entități bine definite clinic, precum reumatismul articular acut, a cărui leziune fundamentală miocardică, nodulul lui Aschoff, constă dintr-o alterare fibrinoidă conjunctivă, asociată cu o transudație edematoasă; la fel și periarterita nodoasă, a cărei leziune esențială este o degenerare fibrinoidă a colagenului.

De fapt, această alterare nu este foarte specifică decît prin topografia sa periarterială (A. Kussmaul și R. Mercier, 1855). Se presupune a fi de origine alergică (Grube, 1925) sau hormonală (Seylye și Peutz, 1943), fără ca una sau alta dintre ipoteze să fie demonstrată. Se discută referitor la raporturile sale cu alte colagenoze, cu purpura reumatoidă a lui Schönlein și Henoch, cu anumite angiopatii alergice, cu boala serului.

De fapt, noțiunea de colagenoză se menține într-o ceață nedefinită. Leziunea histologică (degenerarea fibrinoidă) este prea puțin specifică fiind provocată de prea mulți factori diferiți pentru a servi drept criteriu anatomic strict valabil.

Disprotidemia, hipergamaglobulinemia, supraîncărcarea polizaharidică a plasmei, variațiile mucoproteinelor serice, detectarea unei proteine C reactivă sînt tot atîtea stigmate umorale, care nu fac decît să transpună tulburarea pe plan plasmatic, fără însă a o caracteriza. Dealtfel, nici unul dintre aceste teste nu este specific. Descrierea clinică a acestor afecțiuni, ale căror semne sînt distincte, duce și ea la un impas evident. Acțiunea favorabilă a A.C.T.H.-ului sau a cortizonului, care redresează situaţii disperate, merită să fie considerată drept un argument în favoarea unei etiologii comune? De fapt, acţiunea hormonilor este prea generală şi prea puţin specifică pentru a putea fi luată în consideraţie.

Trebuie oare să admitem că termenul de colagenoză nu adaugă decît un cuvînt fără valoare la terminologia medicală? De fapt, formele intermediare de lupoviscerită malignă şi de dermatomiozite nu sînt excepţionale; forme de trecere între dermatomiozite şi sclerodermie, între periarterita nodoasă, lupusul eritematos diseminat şi alte colagenoze, precum şi formele de trecere dintre colagenozele amintite, reumatismul articular acut şi poliartrita cronică evolutivă.

Tocmai aceste apropieri justifică, pînă la urmă, termenul de colagenoză. Pe de altă parte, conceptul de colagenoză a dat un mare avînt cercetărilor în domeniul ţesutului conjunctiv, identificării factorilor care comandă plasticitatea chimică a acestui element în continuă reorganizare. El ne îngăduie să sesizăm importanţa substanţei fundamentale a ţesutului conjunctiv, interesul patologiei intercelulare, alături de clasica şi aproape exclusiva patologie celulară. Din acest punct de vedere, concepţia lui Glemperer este binevenită, iar conceptul de colagenoză, dincolo de unele construcţii patogenice seducătoare, dar fragile, se dovedeşte eficace şi fecund.

CAPITOLUL III
Progrese ale terapeuticii

Terapeutica secolului al XX-lea va juca un rol de frunte în istoria omenirii, adăugînd succesele sale la cele ale medicinii preventive şi ale igienei publice.

Unde ne găseam în domeniul terapeuticii la sfîrşitul secolului al XIX-lea? Dr. Etienne May rezumă situaţia într-o pagină excelentă:

> „Astfel, la sfîrşitul secolului al XIX-lea, au fost înfăptuite mari progrese, dintre care unele spectaculoase. Trebuie însă recunoscut că toată această activitate este mai bogată în promisiuni decît în rezultate imediate. Dacă într-un mare număr de cazuri dispunem de un tratament eficace, de exemplu contra difteriei şi turbării, în schimb, contra celorlalte boli infecţioase sîntem încă dezarmaţi sau foarte prost înarmaţi. Infecţiile respiratorii acute continuă să fie împovărate de o grea mortalitate contra căreia nu avem nici un mijloc de luptă eficace. Reumatismul articular a fost mult ameliorat de salicilatul de sodiu; dar formele lui grave sînt rebele şi lasă leziuni cardiace definitive, cu care individul trăieşte mai mult sau mai puţin infirm şi moare de tînăr. Nu cunoaştem nici un remediu activ contra febrei tifoide, metoda băilor reci, imaginată de suedezul Brand, atenuînd destul de puţin gravitatea acesteia. Febra puerperală a devenit mai rară de cînd se practică antisepsia şi apoi asepsia; dar cînd ea se declară, nu ştim s-o combatem, astfel că de cele mai multe ori este mortală. Tuberculoza face ravagii la care medicii asistă practic neputincioşi. Sifilisul continuă să fie tratat cu mercur, mai bine desigur decît altădată, dar el rămîne o boală nevindecabilă, ale cărei manifestări tîrzii sub forma unor mari accidente vasculare sau nervoase populează spitalele şi azilurile, în timp ce eredosifilisul dă multă bătaie de cap pediatrilor. La fel se întîmplă cu bolile cronice ale diverselor organe şi cu bolile de nutriţie. Diabetul, în special, nu poate fi tratat decît prin regim iar mortalitatea sa, mai ales la tineri, rămîne considerabilă. Privim, într-o neputinţă dezolantă, cum mor indivizii anemici, cei atinşi de boala lui Addison, adesea şi cei care prezintă o guşă exoftalmică. În afară de aceste afecţiuni cu mare gravitate, este anevoioasă eliberarea bolnavilor de tulburările care îi chinuiesc".

Această neputinţă relativă provoca multora dintre medici, chiar unora dintre cei mai buni, un destul de mare scepticism. Activitatea spitalicească se ocupa mai mult de stabilirea diagnosticului, de anatomie şi de fiziologie decît de terapeutică. Bouchard, care avea o mare reputaţie la sfîrşitul secolului trecut, se plîngea că vede „studenţi învăţînd leziunile şi semnele bolii, dar omiţînd să se informeze asupra tratamentului; medici

> folosind un timp considerabil pentru a preciza simptomele și a pune diagnosticul, dar uitînd apoi să formuleze un tratament sau îndeplinind această obligație stingheritoare în grabă și superficial ca un ceremonial zadarnic. Stabilirea diagnosticului și constatarea leziunilor cadaverice constituie scopul activității medicale; tratamentul nu era decît o concesie făcută exigențelor și prejudecăților publicului".

Totul s-a schimbat într-o jumătate de secol, așa cum va dovedi istoria terapeuticii în cursul ultimilor cincizeci de ani.

A. LUPTA CONTRA INFECȚIEI

Cunoașterii științifice a bolilor infecțioase, una dintre gloriile secolului al XIX-lea, i-a urmat punerea în acțiune a unor arme victorioase. Copilăria este protejată împotriva complicațiilor tragice ale unor boli virotice, contra agresiunii microbilor obișnuiți, agenți ai bronhopneumoniilor, ai otitelor, ai meningitelor, ai enteritelor; omul matur nu mai suferă de infecții urinare, bătrînul nu mai moare de pneumonie; tuberculoza a devenit curabilă, oricare ar fi localizările ei, sifilisul congenital a dispărut, iar studenții nu-l cunosc decît din manuale; marile pandemii tropicale — boala somnului, holera, tifosul, febra galbenă, pianul, kala-azarul și mai ales paludismul, flagelul istoric al omenirii — dau înapoi în fața acțiunilor preventive, igienice și curative ale omului. Lepra, una dintre cele mai înspăimîntătoare boli, „simbolul păcatului originar", este atacată în mod victorios, iar trahomul, care făcea ca atîția copii să orbească, este combătut cu succes.

Rămîn, desigur, bolile provocate de virusuri, pentru care vaccinul contra poliomielitei reprezintă o armă valabilă. Rămîn, mai ales, dificultățile de aplicare a metodelor și medicamentelor noi, dificultăți care nu permit ca în toate țările victoria să fie de partea omului. Dar există mijloacele de a le învinge.

Fără îndoială că în această luptă nimic nu este definitiv, nimic nu este decisiv: inamicii atacați (țînțari și bacterii) dau naștere la descendenți rezistenți prin selecție, sau poate prin mutație și apoi prin selecție. Dar atunci, ori se schimbă modul de atac, ori se asociază mai multe substanțe, ori se găsesc altele noi. Desigur, în special în ceea ce privește virusurile, alte tipuri de virusuri pot veni să le înlocuiască pe cele pe care intervenția omului le elimină. Fără îndoială că apariția bruscă a unor epidemii, a unor pandemii (de exemplu, gripa) amenință încă omenirea. Totuși, sfîrșitul acelor hecatombe provocate de boli în rîndul copiilor, prelungirea duratei medii a vieții, creșterea demografică a popoarelor pe cale de dezvoltare se datoresc în mare parte victoriilor obținute în lupta contra bacteriilor, spirochetelor, precum și a paraziților, vectori și rezervoare de agenți patogeni.

B. TERAPEUTICI BIOLOGICE

Secolul al XX-lea a moştenit, din era pasteuriană, metode de imunizare pasivă prin seruri şi activă prin vaccinuri. Într-adevăr, seroterapia cu ser antidifteric (Behring şi Kitasato, 1890[1]; Emile Roux, 1894), cea cu ser antitetanic (Behring şi Kitasato, 1890, Roux şi Vaillard), punînd în evidenţă calităţile preventive ale serului aplicat atunci cînd nu există decît o rană tetanigenă, cea cu ser antipestos (Yersin, 1894), cea cu ser anticărbunos (Scalvo şi Marchoux, 1895) au inaugurat şi totodată au săvîrşit sarcina binefăcătoare a seroterapiei.

Aceasta datorită faptului că serul antidizenteric (Rosenthal, Todd, Vaillardet, Dopter, 1903—1904) şi serul antimeningococic (Tochmann, 1906; Flexner, 1907) n-au dat decît rezultate nesatisfăcătoare (Netter şi Debré, Dopter). Utilizarea serurilor de origine umană aduce şi astăzi unele servicii în lupta contra rujeolei (Ch. Nicolle şi Conseil, Deckwitz, R. Debré), contra poliomielitei, hepatitei epidemice, dar numai cu efect preventiv (Iller şi Levaditi, Hanemar). Actualmente, datorită fracţionării albuminelor serice (Cohn), se utilizează gamaglobulinele.

Dimpotrivă, vaccinările născute din lucrările lui Pasteur asupra turbării şi-au urmat drumul început la sfîrşitul secolului al XIX-lea. Vaccinarea contra febrei tifoide prin injectarea de germeni omorîţi (A.E. Wright, 1896; Pfeiffer, F.F. Russell, Chantemesse şi Vidal), care s-a dezvoltat în timpul primului război mondial, nu a încetat de a fi utilizată.

Creşterea eficacităţii, ca şi a limitelor sale — în special apariţia unor accidente, necesitatea repetării injecţiilor, nevoia unei mai bune cunoaşteri a antigenilor microbieni — a fost utilă la aplicarea acestei vaccinări ca şi pentru studiile privind celelalte vaccinuri.

După numeroase eşecuri, vaccinarea contra tuberculozei a fost realizată cu succes de Calmette şi Guérin.

Bacilul bovin virulent, cultivat de aceşti autori pe mediu de bilă şi reînsămînţat de multe ori (1906—19), a dat naştere la o tulpină atenuată (bacilul lui Calmette şi Guérin B.C.G.) capabil să determine o leziune locală foarte uşoară şi vindecabilă, cu adenită nesemnificativă, provocînd totodată o alergie specifică şi o imunitate contra suprainfectării cu bacili umani sau bovini, proveniţi din exterior. Inocularea la om, practicată pentru prima oară la nou-născut de Weil-Hallé şi Turpin (1922), demonstrează inocuitatea sa pentru specia noastră, pe care milioane de inoculări pe cale bucală şi cutanată au confirmat-o ulterior. Tulpina a putut varia puţin, dînd naştere unor tulpini-fiice, mai mult sau mai puţin virulente (R. Dubos), dar nu şi-a reluat niciodată caracterul patogen original. În ciuda unei drame (cum se întîmplă adesea la începutul utilizării unei anumite metode vaccinale, dramă datorată, în acest caz, adăugării iresponsabile de către un medic din Lübeck a unor tulpini umane virulente în vaccinul lui Calmette), cu toată marea dificultate de a demonstra şi mai ales de a măsura eficacitatea acestui vaccin, el s-a răspîndit în lumea întreagă; o serie de experienţe decisive (cu subiecţi martori) au demonstrat eficacitatea şi rolul său în scăderea morbidităţii prin tuberculoză în cursul campaniilor de masă, mai ales în Africa, Asia şi America de Sud, precum şi în unele ţări din Europa.

---

[1] Victor Babeş a publicat în 1889, înaintea lui Emil Behring, un studiu în care pune bazele teoretice ale seroterapiei. — *G.B.*

Metoda este, în general, acceptată în lupta antituberculoasă, cu toată durata limitată a acţiunii sale şi în ciuda necesităţii revaccinărilor. A fost prima bătălie cîştigată contra flagelului tuberculos: bătălie încă insuficientă pentru a determina victoria completă.

Febra galbenă a constituit obiectul unor cercetări migăloase şi dificile (W. Reed, E. Marchoux, W.C. Gorgas, A. Stokes, M. Theiler, W. Lloyd etc.). În vaccinarea contra febrei galbene se utilizează fie un virus neurotrop al şoarecelui, folosit prin sacrificare (Peltier, Durieux, Jonchères, Arquié, 1939), fie un virus atenuat de cultură pe ţesut embrionar (Fox, Lenneti, Manso şi Souza, Aguiar, 1943), utilizat mai frecvent decît precedentul, pentru că este lipsit de reacţie.

Vaccinarea contra tifosului exantematic şi lupta contra vectorilor săi au permis jugularea acestui flagel al tuturor războaielor.

Vaccinurile vii ale lui Laigret (1939), Blanc şi Balthazard (1941) dau rezultate remarcabile, dar nu sînt totdeauna foarte bine tolerate. Vaccinurile omorîte ale lui Durand şi Giroux (1940), în care se utilizează plămîni de şoareci, sau ale lui Cox, în care se foloseşte ca mediu de cultură oul de găină incubat 10 zile, vaccin întrebuinţat pe o scară largă, au redus cu totul mortalitatea în timpul celui de-al doilea război mondial. Lupta contra păduchelui, agentul vector descoperit de Ch. Nicolle (1909), a fost mult intensificată prin folosirea masivă de noi insecticide (printre care praful D.D.T., preparat pentru prima oară în 1903 de Zeidler şi căruia chimistul elveţian Müller i-a descoperit proprietăţile insecticide în 1942) aplicate indivizilor expuşi.

Contra ciumei sînt curent utilizate, cu o mare eficacitate, vaccinurile cu virus atenuat (virusul-vaccin al lui Girard şi Robic, 1934), vaccinurile cu virus omorît prin căldură sau cu formol (Calmette şi Borrel, 1895; Haffkine, 1906; Lemoignic şi Pons, 1932).

Contra tusei convulsive, serul hiperimunizant, preparat cu ser de la persoane vaccinate, este încă folosit curent la sugar (Kendrick, 1936; Mc. Guiness, 1937; Cohen şi Lapin, 1939; Scheinblum şi Bullonva, 1944; Debré, 1949). Dar lucrările lui Leslie şi Gardner (1931) asupra caracterelor şi asupra diverselor faze antigenice ale bacilului Bordet-Gengou (1907) au permis realizarea unui vaccin împotriva tusei consulsive preparat din culturi omorîte cu formol, vaccin a cărui aplicare permite protejarea copiilor mici, ameninţaţi de complicaţii periculoase.

Vaccinarea contra difteriei şi a tetanosului a urmat un alt drum, cel al modificării toxinelor solubile, suprimînd total toxicitatea lor şi menţinînd puterea lor vaccinală (G. Ramon).

G. Ramon (1923) a arătat că o toxină difterică, căreia i s-a adăugat formol în anumite condiţii, îşi păstrează întreaga capacitate de a imuniza omul şi animalele, fără a determina cea mai mică tulburare toxică. Pentru acest nou produs, el a propus denumirea de anatoxină. Datorită acestei descoperiri, lupta contra difteriei şi a tetanosului a obţinut un succes remarcabil în întreaga lume.

Formolul s-a dovedit un excelent agent de atenuare, nu numai a toxinelor, dar şi a virusurilor înseşi, fiind astfel realizate mai multe tipuri de virusuri inactivate, în special cel al poliomielitei (J.Salki, 1954; P.Lépine, 1956). Vaccinul antipoliomielitic este actualmente practicat pe o scară foarte largă şi dă mari speranţe. Dealtfel, H. Koprowski şi A. Sabin au propus un alt mod de vaccinare contra poliomielitei (injecţii cu virus viu atenuat).

C. TERAPEUTICI ANTIBIOTICE

Cuvîntul „antibiotice" evocă o nouă armă a omului care luptă contra infecţiilor patogene. Încă în 1877, Pasteur şi Joubert descoperiseră că antagonismul dintre bacterii putea fi demonstrat în corpul animalelor, iar Pasteur adăuga: „Poate că aceste fapte autorizează cele mai mari speranţe din punct de vedere terapeutic".

În 1889, Villemin foloseşte cuvîntul antibioză, care avea să devină celebru şi care definea astfel fenomenul: „Cînd două corpuri vii se unesc în acelaşi timp şi cînd unul dintre ele exercită o acţiune distrugătoare pe o porţiune mai mult sau mai puţin întinsă a celuilalt, se poate spune că există o antibioză". Pe de altă parte, bacteriologii din şcoala lui Pasteur, în special Vinogradsky, preocupaţi de studiul bacteriologiei agronomice, au demonstrat că anumite drojdii împiedică dezvoltarea bacteriilor în sol[2].

În 1929, Alexander Fleming constată că un mucegai, *Penicillium notatum*, împiedică creşterea *in vitro* a stafilococului, a streptococului, a bacilului difteriei, a bacteridiei cărbunoase. Constată apoi că mediul în care cresc aceste culturi posedă aceeaşi proprietate bactericidă; el verifică, de asemenea, faptul că lichidul de cultură nu este toxic pentru şoarece (prin injecţii intraperitoneale), şi nici pentru om, în aplicaţii locale.

Fleming dă acestei substanţe numele de penicilină şi precizează că ea omoară *in vitro* un mare număr de bacterii, fără a altera leucocitele (1931—32); dar el nu mai extinde, în acel moment, cercetările asupra acestei prime peniciline, a cărei preparare a fost foarte anevoioasă.

În 1939, René Dubos constată acţiunea antibiotică a unui microorganism teluric, *Baccilus brevis*, împotriva bacteriilor gram-pozitive. În 1940—42, el descoperă tirotricina, compusă din două antibiotice, gramicidina şi tirocidina. Această tirotricină este foarte activă, dar fiind toxică nu poate fi utilizată decît la suprafaţa corpului.

În 1939, o echipă de cercetători de la laboratorul de patologie din Oxford, condusă de Howard Florey şi Ernst Boris Chain, atacă din nou problema penicilinei, reuşind să o obţină purificată. O primă încercare pe un om sănătos este practicată la 27 ianuarie 1941; apoi, penicilina este administrată la şase bolnavi începînd din luna următoare. De atunci, datorită numeroaselor progrese realizate în ce privește fabricarea ei industrială, penicilina a parcurs drumul său glorios.

---

[2] Încă în 1885, Victor Babeş a publicat, împreună cu André-Victor Cornil, un studiu asupra antagonismului bacterian, în care se exprima convingerea că se va ajunge cîndva la tratarea unor boli infecţioase cu ajutorul microorganismelor. — *G.B.*

Acțiunea penicilinei asupra cocilor gram-pozitivi a modificat complet tratamentul stafilocociilor, streptocociilor, pneumocociilor. Ea a permis prevenirea eficace a scarlatinei, a anginelor, a recidivelor reumatismului articular acut și ale endocarditei lente. Acțiunea sa asupra a doi dintre cocii gram-negativi: meningococul și gonococul, a contribuit la obținerea unei vindecări ușoare a celor mai multe meningite cerebrospinale și a contribuit la lupta eficace împotriva gonoreei. Acțiunea sa remarcabilă asupra agenților sifilisului și ai pianului a modificat total răspîndirea, evoluția și gravitatea celor două boli și a permis să se spere în lichidarea lor. În afecțiunile gangrenoase, ca și în difterie, efectul său este la fel de remarcabil și de salvator.

Cu toate descoperirile următoare, penicilina rămîne antibioticul major, a cărui utilizare asigură în fiecare zi vindecări sau supraviețuiri nesperate. Inocuitatea sa, care altădată preocupase atît de mult pe Fleming, este confirmată de acumularea unei considerabile experiențe mondiale, iar unele tulburări alergice excepționale nu pot să dezmintă această afirmație.

Descoperirea streptomicinei a recompensat cinci ani de cercetare sistematică efectuată de S.A. Waksman și echipa sa și a furnizat, pentru prima oară în istoria terapeuticii, o armă specifică eficace contra bacilului tuberculozei.

Studiind microorganismele din sol, capabile să distrugă numeroșii microbi răspîndiți acolo, Waksman a sfîrșit prin a izola din culturile de *Actinomyces griseus* o substanță inhibitoare a dezvoltării bacilului tuberculozei, substanță pe care a numit-o streptomicină (ianuarie 1944).

Pentru prima oară, medicii au apelat atunci la ea pentru a învinge neputința lor în fața tuberculozei, rezultatele cele mai impresionante fiind obținute în formele cele mai grave, în tuberculozele acute și mai ales în meningitele tuberculoase, în care nu se cunoscuse pînă atunci nici un singur caz de vindecare. Dimpotrivă, streptomicina are, în general, o acțiune mai redusă decît penicilina asupra anumitor microbi comuni, dar ea poate inhiba microbii tusei convulsive și ai melitocociei. Ea este mai toxică decît penicilina, dar adesea ne vedem obligați să asociem cele două antibiotice.

Un fapt remarcabil, de un mare interes biologic și de o gravitate indiscutabilă, a fost constatarea că germenii pot deveni rezistenți față de unul sau mai multe antibiotice în cursul unui tratament ceva mai prelungit și că aceste forme rezistente sînt susceptibile de a infecta omul sănătos, de unde, pe de o parte, necesitatea efortului de a găsi noi antibiotice și de a realiza terapeutici complexe, care împiedică apariția rezistenței, iar pe de altă parte, apariția, din nefericire, a unor eșecuri.

Răspîndirea anumitor rase microbiene rezistente (de exemplu, stafilococul și, poate, și gonococul) a sfîrșit prin a constitui o problemă dificilă de igienă. Dimpotrivă, anumiți germeni rămîn mereu sensibili (spirochetul, streptococul, pneumococul). Dealtfel, acțiunea distrugătoare a antibioticelor asupra florei intestinale nu este fără inconveniente.

După penicilină şi streptomicină au fost descoperite alte foarte numeroase antibiotice.

Cloramfenicolul, izolat în 1947 de P.R. Burkholder pornind de la *Streptomyces venezuelae*, se fabrică astăzi prin sinteză. Este activ în cazul a numeroşi germeni, în special a bacililor tific şi paratific, transformînd aspectul clinic şi evolutiv al acestor boli. El este activ, de asemenea, şi împotriva colibacilozelor, a tifosului exantematic şi a numeroşi alţi germeni.

Aureomicina a fost descoperită în 1948 (B.M. Duggar), pornindu-se de la *Streptomyces aureofaciens*, iar teramicina în 1950, avînd la bază *Streptomyces rimosus*, de către o echipă de cercetători lucrînd sub conducerea lui A.C. Finlay. Aceste două antibiotice au un spectru de acţiune foarte larg faţă de numeroşi germeni şi sînt active în administrarea bucală.

În 1953, Putman, Hendricks şi Welsh, pornind de la culturi de *Streptomyces albogimer*, obţin tetraciclina, al cărei spectru de acţiune este analog celui al aureomicinei şi teramicinei. Pornindu-se de la culturi de *Streptomyces spheroides*, a fost descoperită catomicina, activă mai ales împotriva cocilor gram-pozitivi. Spiromicina este izolată din culturi de *Streptomyces amfaciens*. Ea este activă contra germenilor gram-pozitivi şi contra germenilor din grupul *Neisseria*. Neomicina, descoperită de Waksman şi Le Chevalier în 1949, a fost obţinută pornind de la culturi de *Streptomyces fradiae;* acţiunea sa antibacteriană are multe analogii cu aceea a streptomicinei; ea este activă şi contra a numeroşi alţi germeni, dar toxicitatea (afectări renale) îi restrînge utilizarea. Este folosită în aplicaţii locale, la tratamentul afecţiunilor cutanate, rinofaringiene, sinusiene şi osteo-articulare.

Polimixinele provin din tulpini de *Bacillus polymyxa* (Ph. G. Stansly, 1947); ele sînt active contra bacilului procianic în anumite afecţiuni urinare, intestinale şi meningeene, dar sînt toxice pentru rinichi. Colimicina, descoperită în 1950 de Yasno Koyama, provine dintr-o cultură de *Bacillus colistinus*. Este eficace mai ales împotriva colibacililor şi salmonelelor.

Fungicidina a fost izolată în 1950, de Hazen şi Brown, din *Streptomyces noursei;* este un antifungic care se administrează pe cale orală şi în aplicaţii externe contra moniliazelor, devenite din ce în ce mai frecvente şi mai grave, pe măsură ce se generalizează utilizarea antibioticelor antibacteriene cu spectru larg.

Nu va fi niciodată prea bogat acest arsenal, tot mai bine dotat, pentru a lupta contra tulpinilor rezistente, iar dacă utilizarea lui duce uneori la abuzuri, nu trebuie uitate extraordinarele binefaceri ale acestei terapeutici, tot mai eficace, şi care constituie una din gloriile epocii noastre.

Zilnic se descoperă noi substanţe cu proprietăţi antibacteriene, extrase dintr-un şir întreg de reprezentanţi ai regnului vegetal. Pînă acum, mucegaiurile au jucat un rol de frunte, dar antibioza, această minunată aplicaţie terapeutică, nu şi-a spus poate încă ultimul cuvînt.

D. TERAPEUTICI CHIMICE

În ceea ce priveşte terapeutica antiinfecţioasă, chimia a înregistrat progrese la fel de remarcabile ca şi biologia. Realizînd sinteza substanţelor de origine bacteriană şi fungică, tipuri de antibiotice artificiale de mare valoare, ea a modificat medicaţia metaloidică sau metalică, transmisă prin tradiţie; în sfîrşit, ea continuă să creeze medicamente antiinfecţioase complet noi, de o valoare inestimabilă[3].

Dintre medicamentele chimice tradiţionale pe care chimia le-a modificat trebuie citat mai întîi arsenicul, întrucît sub impulsul lui Ehrlich au fost creaţi arsenobenzolii (salvarsan, 1909; neosalvarsan 1912), armă remarcabilă — pe atunci — în lupta contra sifilisului, şi anilarseniatul de sodiu, contra tripanozomiazelor. Acţiunea terapeutică a arsenicului în lupta contra sifilisului a fost ulterior întărită prin utilizarea bismutului (Sazerac şi Levaditi, Fournier şi Guéniot, 1921). În 1915, „vechiul antimoniu" suferă o renaştere analoagă, fiind utilizat apoi cu succes în tratamentul leishmaniozelor şi al tripanozomiazelor (di Cristino şi Caronia). În 1923, Plummer demonstrează efectele remarcabile ale iodului asupra guşii exoftalmice.

Medicamentele noi, făurite de ştiinţa chimiei, au dat avînt unei industrii farmaceutice de importanţă mondială, asupra dezvoltării şi eficacităţii căreia este inutil să se insiste. La ora actuală, se găsesc în rezervă o serie de substanţe noi în laboratoarele de cercetări atît de numeroase şi descoperite într-un ritm atît de rapid, încît studiul lor experimental (toxicitate şi eficacitate) nu poate fi realizat imediat, substanţe care mîine vor fi, poate, de o mare utilitate.

Sulfamidele deschid seria acestor descoperiri, născute conform previziunilor lui Ehrlich, din ideea rolului pe care-l pot juca împotriva infecţiilor anumite substanţe colorante.

Urmărind prepararea unui nou colorant, Gelmo a realizat în 1908 sinteza sulfanilamidei. În 1913, Eisenberg studiază acţiunea bactericidă a diferiţilor coloranţi care conţin gruparea sulfoamidă. Domagk este primul care, în 1935, stabileşte valoarea antiinfecţioasă a primei sulfamide aplicate în patologia umană, protozilul, sintetizat apoi de Girard sub numele de rubiazol. Îndată după aceea, în laboratoarele Fourneau, d-na Tréfoüel şi J. Tréfoüel, împreună cu D. Bovet şi F. Nitti, demonstrează că activitatea antimicrobiană este legată numai de o parte a moleculei sale (paraaminofenilsulfamida).

Noi substanţe au fost atunci preparate, pornind de la acest nucleu sulfamidic, a cărui activitate, mod de absorbţie şi durată de acţiune variază în funcţie de formula chimică, dar care continuă să aducă mari servicii în tratamentul a numeroase boli infecţioase şi, în special, în infecţiile meningococice, streptococice, pneumococice, gonococice şi colibacilare. Terapeutica antiinfecţioasă poate astfel să alterneze sau să asocieze medicaţiile chimice şi biologice, în funcţie de germenul răspunzător şi de teren. Dealtminteri, şi la sulfamide, la fel ca şi la antibiotice, pot fi observate fenomene de rezistenţă bacteriană, de care trebuie ţinut neapărat seama. Aşa s-a născut chemoterapia antiinfecţioasă, care a urmat chemoterapiei antiparazitare a lui Ehrlich.

Cu toate că descoperirea diaminodifenilsulfonei (sulfona-mamă) a fost realizată de Fromm şi Wittmann acum aproape o jumătate de secol, abia în 1957 Fourneau, Tréfoüel şi colaboratorii lor, în Franţa, şi Buttle, în Anglia, recunosc activitatea antiinfecţioasă a substanţei, iar în 1943, G.H. Faget, în Statele Unite, modifică prognosticul leprei prin introducerea sulfonelor în terapeutica acesteia; cimedona, disulona sînt utilizate curent și cu succes. Și alte medicamente sînt folosite contra leprei, ele dovedindu-se active și contra bacilului tuberculos: tiosemicarbazona (Domagk, 1945), izoniazida, streptomicina și P.A.S.-ul. Agentul cel mai reactiv dintre toate medicamentele antileproase, chaulmoogra, este încă utilizat.

---

[3] A se vedea, de asemenea, studiul lui A. Ihde (pag. 431—432).

În 1943—44, chemoterapia intră în joc în lupta contra tuberculozei prin medicații noi care se vor adăuga streptomicinei.

Bernheim (din Chicago) descoperise că salicilatul și benzoatul de sodiu măresc consumul de oxigen al culturilor de bacili tuberculoși. El ajunge astfel să cerceteze unele substanțe chimice care, aparținînd aceluiași grup, pot să inhibe consumul de oxigen și, paralel, să împiedice înmulțirea bacililor. J. Lehmann descoperă că introducerea unei grupări NH_2 în poziția para se dovedește capabilă să ducă la acest rezultat.

Acidul paraaminosalicilic (P.A.S.) posedă o acțiune bacteriologică netă. Clinicienii confirmă acest rezultat (Lehmann, Inshaw, apoi alții). Sarea de sodiu a acestui acid (B.P.A.S.), administrată pe cale orală sau în perfuzie venoasă, se arată activă și foarte interesantă, cînd este asociată cu streptomicina, pentru prevenirea streptomicino-rezistenței.

Curînd însă, hidrazina acidului izonicotinic sau izoniazida (INH), a cărei sinteză fusese realizată în 1912 de către doi chimiști austrieci, Mayer și Nally, și a cărei acțiune a fost descoperită în 1950 de E. Grunberg, W. Leiwant și R.J. Schnitzer, se dovedește a fi cea mai eficace substanță chimică antituberculoasă.

INH-ul poate fi ușor administrat pe cale gastrică; el posedă o moleculă mică, cu difuzie foarte mare, are o acțiune specifică asupra bacilului tuberculos, acțiune nu numai bacteriostatică, dar și bactericidă, și, în sfîrșit, nu are decît o foarte slabă toxicitate; această medicație, pe cît de comodă, pe atît de activă, revoluționează tratamentul infecției tuberculoase, fie că este utilizată singură, fie, așa cum se procedează curent, asociată cu P.A.S.-ul și cu streptomicina.

Chemoterapia ne-a mai oferit în ultimii ani cicloserina și mai ales etionamida.

În lupta împotriva unui alt mare flagel, paludismul, produșii de sinteză chimică au ajuns să înlocuiască în mare măsură chinina, cu toate că aceasta rămîne utilă și contra acceselor pernicioase.

Pornind de la nucleul pirimidinic conținut în sulfamide, care are o acțiune antimalarică, s-a realizat sinteza paludrinei (Curd, Davey și Rose, 1945). Nivachinul sau clorochinul a fost descoperit de chimiștii germani (Bayer, 1938). Unii produși derivă din acridină, iar alții din derivații chinoleici: plasmochinul, rodochinul și flavochinul. Aceste produse antipaludice acționează în mod diferit, unele fiind active împotriva schizonților, iar altele, contra gameților.

Toxicitatea slabă, eficacitatea și mînuirea ușoară a acestor preparate sintetice au ușurat mult lupta împotriva malariei. În prezent, această luptă se orientează din ce în ce mai mult spre profilaxie, nu numai individuală, dar și socială.

Lupta împotriva malariei este condiționată de distrugerea și neutralizarea țînțarilor, vectori ai parazitului; de aici importanța anumitor lucrări publice, ca suprimarea apelor stagnante, a cărei tehnică constă în acoperirea cu un strat pelicular de petrol sau de talc a apelor colectate și mai ales în utilizarea insecticidelor de contact, ca D.D.T., H.C.H.

Împotriva amibiazei rămîne încă indispensabilă emetina, întrebuințată pentru prima dată de Rogers în 1912. Au intervenit însă cu succes și antibioticele: aureomicina și tetramicina. Au apărut și unii compuși noi.

Vom semnala, în special, derivații iodați ai oxichinoleinei (diodochinul), descoperiți în 1915 de Antonin și Morton, denumiți în Franța myxiod sau rexiod. Conesina, alcaloid din *Holarrhena floribunda* descoperită de Chevallier în 1935, a fost studiată de medicii din Dakar (Durieux, Siddiqui etc., 1932—46). În afară de stovarsol (Marchoux, 1923), dispunem acum de un nou compus arsenical; bis (*p*-arsenofenilamino)-1, 2-etam — sare sodică, sau 4763 RP, studiat clinic de Cosar și J. Schneider, iar experimental de R. Dupoux.

Împotriva tripanosomiazei și kala-azar-ului au fost realizate mari progrese prin descoperirea acțiunii terapeutice a anumitor produși din grupa diamidinelor aromatice, de exemplu a lomidinei, descoperită de Ewins (1933) și studiată apoi de Adler (1939). Pînă în 1947, nu exista nici un medicament contra filariozelor umane. Hewitt și colaboratorii săi au descoperit acțiunea unui derivat al piperazinei: dietilcarbamil-l-metil-4-piperazina.

Chemoterapia — în afară de lupta esențială care se întreprinde datorită ei împotriva bolilor infecțioase și parazitare — a realizat unele progrese și în domeniul medicamentelor regulatoare ale ritmului cardiac și al medicamentelor diuretice.

MODERATORI AI RITMULUI CARDIAC. În cursul ultimilor douăzeci de ani, mijloacele și metodele de control al aritmiilor au evoluat. Digitalina rămîne o medicație de o importanță excepțională, dar eficacitatea sărurilor de chinidină, introduse în terapeutică de W. Frey, în 1918, nu mai trebuie demonstrată, mai ales împotriva aritmiei complete.

Amida procainică este curent utilizată în tratamentul extrasistolelor ventriculare și al crizelor tahicardice ventriculare (L.C. Mark, I. Berlin, H. Kayden, Rovenstine, Steele și B. Brodie, 1950). Izopropilnoradrenalina (Nathansan și Muller, 1952), care mărește excitabilitatea cardiacă, este utilizată în tratamentul blocurilor atrio-ventriculare, tinzînd să înlocuiască efedrina. Preconizat de Bellet, Wasserman și Brody în 1955, lactatul de sodiu mărește frecvența ventriculară automată și este utilizat împotriva accidentelor lui Adams-Stokes.

Utilizarea acestor produși, capabili să restabilească ritmul sinusal sau să controleze o aritmie, nu poate fi concepută decît sub o supraveghere minuțioasă, clinică, electrocardiografică și uneori biologică.

DIURETICE. Derivații xantici, teobromina, teofilina continuă să fie diureticele utilizate curent în insuficiențele cardiace cu edem. Dar acțiunea diuretică a preparatelor pe bază de mercur este tot mai apreciată, în timp ce alte diuretice, foarte eficace, au fost recent descoperite și folosite.

Se utilizează compușii organici mercuriali care sînt mai bogați în mercur decît compușii minerali, și mult mai puțin toxici (Brunn, Bernheim și Grunke, 1913; P. Salx și R.

Heilig, 1920). Insuficienţa cardiacă cu edem este principala lor indicaţie. Injectarea acestor săruri declanşează o poliurie de mai mulţi litri, cu puternică eliminare de substanţă clorurată şi sodică. Administrarea lor este contraindicată în toate nefropatiile.

În 1950, Roblin şi Clapp descoperă acetazolamida, a cărei proprietate esenţială este aceea de a fi un inhibitor al carboanhidrazei. Această inhibiţie determină o eliminare sporită de sodiu şi de apă şi măreşte diureza cu o urină alcalinizată. Diureticul respectiv este utilizat împotriva insuficienţei cardiace cu edem şi a cordului pulmonar cronic.

Clorotiazida, sintetizată în 1956 de Novello şi Sprague, hidroclorotiazida, sintetizată în 1959 de A.L. Cornish, hidroflumetiazida, sintetizată de R.V. Ford şi Nickell în 1959, sînt diuretice puternice, puţin toxice, folosite în toate tipurile de edeme, dar care cer o supraveghere atentă, capabilă să descopere şi să trateze eventualele tulburări electrolitice.

E. TERAPEUTICI FIZIOLOGICE

HORMONI. Terapeutica hormonală se extinde neîncetat, aducînd mereu noi satisfacţii. Utilizată de mulţi ani contra mixedemului, a diabetului, a bolii lui Addison şi a altor insuficienţe endocrine, ea se perfecţionează uimitor din zi în zi. Apar noi moduri de administrare: insuline cu efect întîrziat, implante hormonale (Deaesly şi Parkes, 1937; Bishop, 1938; Thorn şi Firor, 1940), suspensii cristaline hormonale (Mescher, Meier, Gesch, 1944), cu efecte intermediare între cele ale soluţiilor uleioase şi cele ale implantelor. Produşii hormonali cunoscuţi de mai înainte sînt mai bine mînuiţi.

Aşa se întîmplă cu insulina, adaptată cu supleţe la necesităţile schimbătoare ale organismului. Folosirea actuală a insulinei duce la considerarea şi tratarea diabetului copilului şi a tînărului adult ca o boală endocrină (Mann şi Magath, 1923; Soskine şi Levine, 1940; Guest, 1947—55).

Ea permite tînărului diabetic să ducă o viaţă cvasinormală, sub rezerva totuşi a apariţiei tardive a unor complicaţii degenerative. Împotriva diabetului gras, care apare după 40 de ani, insulina rămîne încă, în anumite condiţii, o armă de neînlocuit. Totodată, dispunem actualmente de o terapeutică nouă. Începînd cu constatările clinice ale lui Janbon (1942), care a observat accidente hipoglicemice la bolnavii de febră tifoidă trataţi cu sulfamide tiazolate, cu lucrările experimentale ale lui Loubatières (1942) şi cu primele tentative clinice ale lui Franke şi Fuchs (1935), Bertram (1955), sulfamidele poliglicemiante au cucerit poziţii în terapeutica diabetului zaharat. Apoi, noile hipoglicemiante, derivate ale granidinei, par nu mai puţin interesante, cu condiţia ca şi unele şi celelalte să fie rezervate pentru anumite forme de diabet, denumite sulfamido-sensibile.

Noi hormoni izolaţi sau sintetizaţi sînt utilizaţi în mod curent: gonadotrofinele, corionice şi serice, hormonii gonadotropi, prolactina, tireostimulina, ocitocina, presina sau extractul posthipofizar, estradiolul, estrogenii de sinteză, progesteronul, testosteronul etc., iar în viitor, poate, un hormon somatotrop eficace. Toţi aceşti hormoni puri, obţinuţi prin extracţie sau prin sinteză, aduc mari binefaceri; ei corectează tulburările de creştere, redresează hipotrofiile genitale, suprimă pentru moment simptomele diabetului insipid, exercită o acţiune favorabilă împotriva sindroamelor hiper- şi hipohormonale feminine, opresc hemoragiile uterine, blochează temporar evoluţia cancerului sînului şi al prostatei; dar, din cauza intensei lor activităţi, ei riscă să ducă şi la dezastre, dacă nu sînt aplicaţi cu un extrem discernămînt.

Dacă progresele recente în cunoaşterea hormonilor tiroidieni n-au modificat sensibil tratamentul mixedemului, dimpotrivă, terapeutica hiper- şi distiroidiilor nu a stagnat. Tratamentul chirurgical, tiroidectomia subtotală, nu mai este singura speranţă în formele grave ale bolii lui Basedow. Dispunem acum, datorită iodului radioactiv, de un tratament major al bolii. Descoperirea de substanţe antitiroidiene de sinteză au adăugat tratamentului hipertiroidozelor o contribuţie importantă.

Ea s-a născut din observaţiile lui Chesney şi Marine (1928) şi ale lui F. Blum (1938) asupra hipertrofiei guşogene a corpului tiroid (şi cu hipotiroidie la animalele hrănite exclusiv cu varză şi cu crucifere). În 1943, E.B. Astwood raportează primele rezultate ale tratamentului bolii lui Basedow prin substanţe cu acţiune antitiroidiană, ca tioureea şi tiouracilul. De atunci, aceste substanţe au fost înlocuite în terapeutică cu alte antitiroidiene mult mai puţin toxice, ale căror rezultate terapeutice sînt adesea excelente.

Progresele cele mai senzaţionale în terapeutica hormonală sînt cele ale corticoterapiei suprarenale (vezi pag. 845—846). În 1937, M. Steiger şi T. Reichstein demonstrează influenţa determinantă a dezoxicorticosteronului asupra metabolismului apei şi al sării, precum şi acţiunea sa terapeutică în boala lui Addison. La 13 aprilie 1949, Hench, Kendall, Polley şi Slocumb prezintă la Congresul internaţional al bolilor reumatismale observaţii asupra a 16 bolnavi atinşi de poliartrită cronică evolutivă, ale căror semne de boală au dispărut în cîteva zile, sub influenţa cortizonului injectat muscular, cîte 10 mg pe zi. Acelaşi rezultat a fost obţinut în urma injecţiilor cu adrenocorticotrofină hipofizară (A.C.T.H.) care excită direct secretarea, de către corticosuprarenală, a cortizonului.

Aceşti autori au remarcat că poliartrita cronică evolutivă, boală descurajatoare prin cronicitatea şi caracterul său incurabil, este susceptibilă să dispară aproape total, ca urmare a unei sarcini sau prin apariţia unui icter. Hench a avut meritul de a afirma că la originea acestor ameliorări trebuie pusă intervenţia unui factor biochimic, probabil de natură hormonală, comun celor două sexe şi capabil să acţioneze asupra evoluţiei reumatismului. A considerat că acest factor este legat de acizii biliari şi aparţine neîndoios secreţiilor glandei corticosuprarenale, iar la sfatul lui Kendall a avut ideea să utilizeze cortizonul în tratamentul poliartritei cronice evolutive.

Cortizonului i s-a alăturat hidrocortizonul, compusul F al lui Kendall, care pare să reprezinte hormonul fiziologic. Pornind de la acesta, s-au putut obţine, prin sinteză, diverşi compuşi foarte activi.

Principalii dintre aceştia sînt 9-alfa-fluoro-hidrocortizonul (compusul FF) (Fried şi Sabo, 1955), apoi delta-cortizonul sau prednizonul sau metacortandracina, mult mai activ decît hidrocortizonul şi lipsit de factorul de retenţie a apei şi a sării şi de pierderea potasiului (el înlocuieşte azi cortizonul în majoritatea indicaţiilor acestuia); deltahidrocortizonul (prednisolonul sau metacortandralonul) este la fel de eficient ca și delta-cortizonul; delta-1-fluorohidrocortizonul (Müller, 1955), care nu diferă de compusul FF decît prin adăugarea unei duble legături — care este încă în studiu și ale cărei efecte antiinflamatorii par a fi mai puternice decît cele ale hidrocortizonului; și, în sfîrșit, 9-α fluoro-16-α metildelta-hidrocortizonul sau dexametazonul, devenit de utilizare curentă.

Dacă descoperirea lui Hench și Kendall a adus o contribuție strălucită la tratamentul bolii reumatismale s-a observat curînd că medicația era la fel de eficace în multe alte boli; ea a lămurit geneza mult timp misterioasă a unei întregi serii de afecțiuni și a permis gruparea bolilor colagenului. Cortizonul, delta-cortizonul, A.C.T.H.-ul nu sînt numai hormoni protido-glucidici care exercită o acțiune catabolică asupra protidelor, o acțiune de neoglicogeneză pe seama protidelor, favorizînd depozitarea lipidelor, retenția apei și sodiului și pierderea potasiului, ci au ca efect și diminuarea volumului organelor limfoide, determinarea unei limfopenii și a unei eozinopenii, exercitarea unei acțiuni antialergice, inhibarea anumitor enzime și estomparea reacțiilor inflamatorii ale colagenului. Devine astfel clară multiplicitatea acțiunii lor terapeutice.

Pînă în 1950 nu dispuneam pentru tratarea bolii lui Addison decît de dezoxicorticosteron, supraviețuirea bolnavilor rămînînd precară. Astăzi, cortizonul a devenit centrul tratamentului: 2—3 comprimate de hidrocortizon pe zi ajung pentru a deveni vizibile toate semnele vindecării, fără a mai fi necesar un regim alimentar hipersărat și cu un adaos discret și intermitent de dezoxicorticosteron. Cortizonul în doze masive îi salvează de la moarte pe bolnavii care sînt victime ale insuficienței suprarenale acute, consecutive bolii lui Addison, insuficiență denumită primitivă, în cursul unei stări infecțioase grave sau al unei septicemii. El permite supraviețuirea bolnavilor în stare de insuficiență suprarenală în cursul sau în urma suprarenalectomiei bilaterale. Exercită, de asemenea, o acțiune favorabilă în timpul hiperplaziilor suprarenale congenitale (Wilkins, 1950).

Avantajele acestei terapeutici hormonale s-au afirmat și în unele spondiloze, în reumatismul psoriazic, în reumatismul articular acut, în boala lui Still, în lupusul eritematos diseminat, în sclerodermie, în dermatomiozite, în periarterita nodoasă, pe scurt în cea mai mare parte a bolilor colagenului. Hidrocortizonul în injecții intraarticulare sau paraarticulare constituie un tratament ajutător util al anumitor artroze.

Acțiunea antialergică a hormonului explică eficacitatea sa în astm, urticarie, edemul Quincke. Împotriva hemopatiilor, a leucozelor, mielozelor, leuco-sarcomatozelor, hormonul exercită o acțiune de frînare care nu este neglijabilă. Este foarte eficace în anemiile hemolitice dobîndite, în anumite purpuri trombopenice. El exercită o acțiune favorabilă în cursul nefrozei lipoidice pure, al anumitor ciroze hepatice și al icterelor infecțioase amenințătoare. Asigură un aport important în tratamentul endocarditelor rebele. Este foarte util în cazul tuberculozelor inflamatorii acute, precum tuberculoza miliară acută, pleurezia, meningita tuberculoasă, prin contribuția sa importantă la tratamentele cu antibiotice. Începe chiar să fie aplicat cu succes contra tuberculozei pulmonare ulcero-cazeoase cronice, cu condiția să fie asociate cu antibioticele antituberculoase și să se recurgă la o administrare de scurtă durată. În cursul anumitor septicemii sau infecții grave, cortizonul permite ameliorarea temporară a stării bolnavilor, dînd astfel răgaz antibioticelor să acționeze. Administrarea hormonului pe cale intravenoasă, fie a A.C.T.H.-ului, fie a hemisuccinatului de hidrocortizon şi de sodiu, permite salvarea bolnavilor infectaţi sau dispneizanţi, condamnaţi altădată la o moarte rapidă. Utilizarea locală a cortizonului sau a hidrocortizonului se dovedeşte adesea utilă în dermatologie, sub formă de pomadă, sau în oftalmologie, sub formă de colir.

Nu trebuie totuşi pierdut din vedere faptul că utilizarea acestor produşi hormonali este legată de apariţia unor inconveniente şi chiar pericole (hipercorticism, agravarea sau apariţia stărilor infecţioase, leziuni digestive perforante, accidente trombo-embolice, accidente de şoc, tulburări psihice, atrofie corticosuprarenală) şi că excesele ei au provocat uneori dezastre.

Hormonoterapia corticosuprarenală trebuie să fie folosită numai în cazurile grave, unde ea este de neînlocuit, sau în bolile de scurtă durată, unde ea nu poate fi periculoasă, din cauza dozelor slabe administrate. Odată formulate aceste precauţii indispensabile, este evident că hormonoterapia corticosuprarenală reprezintă, împreună cu penicilina, una dintre recentele descoperiri capitale în medicină şi în terapeutică.

VITAMINE. Dată fiind frecvenţa rahitismului la sugari, un aport vitaminic este indispensabil în primul an al vieţii. Se utilizează vitamina D_2 sau calciferolul (Windaus, 1927), în doză preventivă, de 500—1000 unităţi pe zi, sau în doză curativă de 5 000—10 000 unităţi pe zi, timp de cel puţin 10—20 de zile.

Un progres a fost realizat prin înlocuirea cu o doză masivă unică de vitamină D_2 (Harnapp, Bishoff, 1939), dar nu trebuie ignorate pericolele redutabile pe care le comportă prescrierea de doze excesive de calciferol. Nu trebuie uitat nici faptul că iradierea solară sau cu radiaţii ultraviolete permite organismului să sintetizeze vitamina D şi că o locuinţă salubră împreună cu un regim alimentar de timpuriu extins constituie cel mai bun mijloc de prevenire a rahitismului. Vitamina D mai este utilizată, asociată cu săruri de calciu, contra tetaniei acute. Împotriva tetaniei cronice ea este înlocuită cu dihidrotahisterolul (AT 10, sau calcamina).

Administrarea tiaminei (vitamina B_1), asociată corectării regimului alimentar carenţat, joacă un rol esenţial în tratamentul avitaminozei B_1, dar tiamina, care intervine în metabolismul hidraţilor de carbon, este utilizată mai ales ca remediu antinevritic; vitamina B_2 (riboflavina), ca anticheilitic (Randouin şi Simonnet, 1924; Goldberger); vitamina B_3 (vit. PP sau nicotinamida), ca antipelagros (Goldberger, 1925—35; Spies, 1937); vitamina B_4 (adenina), ca antiagranulocitar; vitamina B_5 (acid pantotenic), ca anticanitic; vitamina B_6 (piridoxina sau adermina), contra bolii radiaţiilor, a anumitor convulsii infantile piridoxino-sensibile, a intoxicaţiilor cu izoniazidă.

Vitamina C vindecă scorbutul şi sindroamele carenţiale prescorbutice. Dar avitaminoza C nu explică totul despre scorbut; carenţa unui alt factor, factorul P, de permeabilitate capitală, joacă un rol important, vitamina P aflîndu-şi aici una dintre principalele indicaţii.

Vitamina A sau antixeroftalmică, vitamină liposolubilă, ca şi vitamina D, este adesea administrată împreună cu aceasta sau sub formă de ulei de ficat de cambulă, în cursul sindroamelor carenţiale observate la sugar.

Vitamina K este, în principiu, indicată în toate cazurile în care procentul de protrombină a scăzut sub nivelul normal de 75—100 ‰.

Administrată în injecţii intravenoase, intramusculare sau pe cale orală, ea produce, în 24—48 de ore, revenirea protrombinei la normal. Este indicată mai ales la pregătirea hepaticilor pentru intervenţiile chirurgicale, în icterele prelungite, în ciroze şi în cursul bolii hemoragice a nou-născutului. Adesea este utilă asocierea ei cu bila sau cu sărurile biliare.

TRANSFUZII SANGUINE. AGENŢI COAGULANŢI ŞI AGENŢI ANTICOAGULANŢI. Transfuzia de sînge, tratament de importanţă vitală, nu a fost posibilă decît începînd din 1900, dată la care Landsteiner stabileşte existenţa izoaglutininelor şi a grupelor sanguine (vezi pag. 641—651). Anumite dificultăţi tehnice au fost îndepărtate datorită lui Agote, Lewisohn, Hustin, care, în 1914—1915, au arătat importanţa utilizării citratului de sodiu pentru a păstra necoagulabil sîngele prelevat. În anii din urmă, progresele realizate în privinţa metodelor de conservare a sîngelui şi, în special, punerea la punct a soluţiei de citrat acid conţinînd dextroză, denumită A.C.D., au permis stocarea sîngelui şi utilizarea lui la intervale care pot merge pînă la 21 de zile de la prelevare. În sfîrşit, în 1940, descoperirea de către Landsteiner şi Wiener a factorului Rh a deschis capitolul izoimunizărilor posttransfuzionale şi ne-a permis să înţelegem mecanismul unui mare număr de accidente, neexplicate pînă atunci, şi să le prevenim.

O hipovolemie bruscă şi importantă datorită hemoragiei, şocului traumatic, şocului chirurgical sau arsurilor constituie o indicaţie majoră şi urgentă pentru transfuzie. Aceasta este indicată în anemiile grave, în trombopenii, în bolile hemoragice datorite tulburării coagulării. Hiperproteinemiile impun transfuzii totale de sînge şi mai ales transfuzii de plasmă sau de albumină. Nu trebuie uitat că orice transfuzie comportă un risc de accident, care poate fi mortal (incompatibilitate, suprasolicitare circulatorie, intoleranţă la plasmă, transmiterea unor infecţii).

Exsanguino-transfuzia, practicată în 1946 de Wallerstein, Wiener, Diamond, iar apoi de Bessis şi S. Buhot, constă în extragerea unei cantităţi importante de sînge (4—8 l la adulţi; 0,5 l la nou-născut), injectînd simultan o cantitate egală de sînge normal. Cele două indicaţii majore ale sale sînt: boala hemolitică a nou-născutului şi nefrita anurică hemolitică.

Sîngele rămîne cel mai bun agent hemostatic. Dar în anumite condiţii pot fi utilizate: fibrinogenul, în caz de fibrinoliză acută, trombina, în aplicaţii locale, vitamina K, în diferite fracţiuni plasmatice.

Practica transfuziei sanguine interumane, pusă în lumină în ultimul război, s-a extins datorită aplicaţiilor sale chirurgicale şi medicale din timp de pace. Necesitatea şi dezvoltarea sa, în perspectiva unui viitor nesigur, sînt evidente, de aceea ea beneficiază actualmente de un asemenea credit, încît s-a impus pe plan universal, apărînd în toate ţările efectul acţiunilor sale salvatoare, al exigenţelor sale, al grelelor sale servituţi. Această terapeutică, cu eficienţă unanim recunoscută, depăşeşte activitatea normală a practicienilor, necesită un efort direct şi susţinut al întregii colectivităţi. Pentru a se exercita pe deplin, ea implică sprijinul autorităţilor şi nu numai o organizare tehnică costisitoare, dar şi o acţiune psihologică.

În 1923 a fost creat în Franţa, de către profesorii Gosset, Lévy-Solal şi A. Tzanck, primul centru de transfuzii, care a dus, în 1928, la înfiinţarea Fundaţiei Raba-Deutsch de la Meurthe sau Centrul naţional de transfuzii şi de cercetări hematologice. Astfel de centre erau puţin dezvoltate în Franţa înainte de 1939, cu toate că transfuzii se efectuaseră pe întreg teritoriul. Eforturile conjugate ale militarilor şi civililor au dus în 1940 la realizarea unei organizaţii bazate mai ales pe utilizarea sîngelui conservat, preparat în spatele frontului şi trimis la laboratoarele armatei. Dar transfuzia sanguină nu şi-a atins dezvoltarea deplină decît după eliberare, cînd armatele aliate au demonstrat interesul pe care-l prezenta folosirea sîngelui sau a derivaţilor săi în tratarea numeroşilor răniţi, chiar în afara anemiei hemoragice. În 1945—46 se creează centre de transfuzii sanguine, coordonate printr-o reglementare administrativă precisă.

Sîngele complet conservat este şi va rămîne principala armă transfuzională. În majoritatea cazurilor sîngele îndeplineşte numai funcţia de vector de hematii care şi-au păstrat proprietăţile biologice.

Plasma lichidă „stabilizată“ cu ajutorul a diverşi produşi, mai ales cu glucoză, nu este viabilă decît în măsura în care este folosită rapid; în principiu, ea poate oricînd prilejui surprize neplăcute. Plasma congelată este un produs excelent, care sporeşte economicitatea şi securitatea, dar condiţiile de conservare limitează posibilităţile de stocare la capacitatea aparatului. Dealtfel, orice variaţie de temperatură este dăunătoare.

Plasma liofilizată reprezintă cea mai bună formulă de siguranţă; cu tot preţul său ridicat, ea reprezintă modul de conservare cel mai raţional şi permite un stocaj prelungit.

Pînă astăzi nici o metodă nu este considerată ideală pentru sterilizarea plasmei, iar contaminarea ei prin virus icterigen omolog rămîne un pericol.

Derivatele de plasmă obţinute prin metodele de fracţionare, al căror iniţiator a fost Cohn, n-au fost pe măsura speranţelor de acum zece ani în legătură cu aceste metode. Tehnicile lor grele şi costisitoare deturnau o apreciabilă cantitate de plasmă în favoarea terapeuticilor excepţionale. Obţinerea albuminei şi a globulinelor, acestea reprezentînd pentru moment fracţiunile cele mai adesea folosite, dă rezultatele cele mai evidente. Totuşi ultimele lucrări ale lui Cohn au permis punerea la punct a unei metode interesante, care realizează o fracţionare rapidă, ducînd la un derivat plasmatic defibrinizat şi delipoidat *(stable protein solution)*, sterilizabil prin căldură, ceea ce îngăduie să se întrevadă posibilitatea suprimării virusului icterigen.

Datorită aplicaţiilor sale medicale, transfuzia, pînă mai ieri simbolul urgenţei, intervine în numeroase stări patologice, devenind astfel o metodă generală în patologie.

Medicaţia anticoagulantă reuşeşte să revoluţioneze terapeutica a numeroase afecţiuni în care cheagurile oblitereazâ venele şi arterele sau care conţin în mod potenţial îngrijorătorul proces emboligen. Ea cere o supraveghere atentă (testul lui Quick, trombotestul lui Owren, testul de toleranţă la heparină).

În 1916, J. McLean a descoperit heparina, care permite lupta împotriva trombozelor. Lucrările sale au fost reluate şi completate de W.H. Howell (1918). Între 1918 şi 1946, Jorpes şi apoi L.B. Jaques şi Charles precizează formula heparinei, o izolează sub formă pură şi o aplică în clinică la tratamentul trombozelor.

Descoperirea celui de-al doilea tratament anticoagulant se întinde din 1924 pînă în zilele noastre. Lucrările lui Campbell şi Link (1941) au îngăduit izolarea unor substanţe anticoagulante a căror sinteză este realizată în 1941 (Stahmann, Huebner şi Link): dicumarinele (antivitaminele K), care au fost aplicate ulterior în tratamentul trombozelor (dicumarolul sau 3,3-metilen bis-4-hidroxicumarina şi fenilindandiona).

Aceste tratamente, mai ales cele cu dicumarine, necesită o atentă supraveghere clinică şi biologică (cantitatea de protrombină şi testul toleranţei la heparină) datorită pericolului de hemoragie. Indicaţiile lor esenţiale sînt trombozele venoase şi trombozele coronariene.

MEDICAŢII ANTIHISTAMINICE. Problema rolului fiziopatologic al histaminei a fost pusă de Dale şi Laidlaw în 1910, iar acţiunea capilară a acesteia a fost studiată magistral, la om, de Lewis şi Grant. Cercetările ulterioare ale lui Lewis (1927), Manwaring, Bartosch şi Feldberg, Barsoum şi Gaddum, Ungar, Bovet şi Parrot, Tinel tind să dovedească realitatea intervenţiei histaminei în cursul accidentelor anafilactice şi alergice. S-a pus atunci întrebarea dacă nu ar fi posibilă inhibarea histaminei cu ajutorul unui produs capabil să exercite o acţiune antagonistă specifică.

Un prim produs, derivat al anilinei, N' dimetilaminoetilanilina (N' de antragen sau 2339 RP), sintetizat de Koetchet, Mosnier şi Bouvier şi studiat de Halpern (1942), s-a dovedit a fi activ şi a fost bine tolerat. D. Bovet şi Wallhert sintetizează apoi, dintre derivaţii piridinei, o substanţă a cărei activitate histaminică se dovedeşte superioară celei a antergranului, substanţă cunoscută sub numele de neoantergan sau 2786 RP. A urmat apoi realizarea unui derivat al fenotiazinei, 3277 RP sau fenerganul, a cărui activitate este cu mult superioară celei a celorlalte antihistaminice, avînd şi o toxicitate mult inferioară.

După fenergan, îşi fac apariţia o întreagă serie de antihistaminice de sinteză, al căror cîmp de acţiune se extinde continuu, datorită proprietăţilor lor sedative, analgezice, hipnotice, precum şi descoperirii caracterului alergic a numeroase afecţiuni. Atît unele, cît şi celelalte sînt utilizate mai ales contra manifestărilor cutanate de intoleranţă (urticarie, prurit, înţepături de insecte, eczeme, simptomatologia cutanată a intoleranţei medicamentoase) şi contra diferitelor manifestări alergice (astm şi echivalentele acestuia).

NOILE TERAPEUTICI ALE SISTEMULUI NERVOS ŞI CHEMOTERAPIA PSIHIATRICĂ. Neuroplegicele îşi exercită acţiunea nu numai asupra sistemului autonom, ci şi asupra aparatului neuromuscular striat, cum este curara, sau asupra elementelor sistemului nervos central, cum este clorpromazina.

În 1935, King reuşeşte să izoleze un compus chimic definit, D-tubo-curarina, avînd proprietăţi fiziologice constante şi permiţînd astfel standardizarea curarei. Un lung studiu al curarizantelor de sinteză permite să se ajungă la descoperirea tri-iodo-etilatului de tri-(B-dietilaminoetoxil) 1,2,3—benzen de către d-na de Lestrange, pe de o parte, și de către D. Bovet *(flaxedil)*, pe de altă parte.

Alți trei produși de sinteză au fost obținuți de Hazard și colaboratorii săi: unul este dibrombenzilatul de M-N'-dietilaminoetil piperazina (izocurina). Acești produși sînt utilizați pe cale intravenoasă, intramusculară sau rectală. În 1941, Bennet a avut, primul, ideea de a-i utiliza pentru a suprima faza tonică a electroșocului. În 1942, H.R. Griffith publică primele statistici importante privind curarizarea în chirurgie, metodă care permite să se opereze pe mușchi destinși; dealtfel, ea nu este întrebuințată în asemenea cazuri decît dacă există materialul necesar pentru intubația traheală, oxigenoterapie și narcoza în circuit închis.

Curarizarea aduce servicii deosebite în toate intervențiile chirurgicale care necesită o rezoluție musculară foarte avansată, permițînd reducerea dozelor mari de anestezic pe care durata mare a anumitor intervenții le face indispensabile. Ea nu a întîrziat să pătrundă în medicina internă, unde a fost utilizată mai întîi contra tetanosului, apoi și contra a numeroase afecțiuni neurologice complicate cu contracturi musculare.

Clorhidratul de cloro-3-(dimetilamino-3-propil)-10-fenotiazina, sau clorpromazina, realizat în Franța datorită lucrărilor din laboratoarele RP, în cursul cercetărilor întreprinse sistematic pentru a provoca o paralizie a sistemului neurovegetativ, este actualmente larg utilizat ca adrenolitic și ca sedativ; el ar avea și proprietatea de a sensibiliza celula nervoasă față de anestezicele generale, de hipnotice și de analgezice.

Ganglioplegicele suprimă transmiterea fluxului nervos prin ganglionii sistemului neurovegetativ.

Cunoașterea lor se datorește lucrărilor lui Burn, Dale (1924) și Hunt (1926). Cele mai frecvent folosite sînt pentametoniul, hexametoniul și pendiomida (a cărei sinteză a fost realizată de Marxner și Miescher). Aceste substanțe determină o suprimare a tonusului vascular și dau posibilitatea realizării, în chirurgie, a hipotensiunii posturale postganglioplegice, adică a hipotensiunii controlate.

Avantajele ganglioplegicelor s-au afirmat mai ales în domeniul chirurgiei creierului. Ele sînt utilizate însă curent și în chirurgia maxilo-facială, în chirurgia ortopedică și în chirurgia toracică.

Mai specială apare „hibernarea“, care face apel la neuroplegia medicamentoasă obținută cu ajutorul clorpromazinei, asociată cu fenerganul, cu dolosalul, cu diparcolul, cu procaina, cu sulfatul de sparteină, și de asemenea la răcirea bolnavului (H.Laborit și H.Huguenard, 1954).

Noi analgezice și sedative s-au adăugat morfinei și înlocuitorilor săi.

Vom cita: clorhidratul de izonianisiletanolamina (evadol), analgezic spasmolitic, nicotinilamino 1,2-difeniletanul (lispamincilag). La marea listă a derivaților manonilureei se adaugă pentotalul, izoamiletilmanonilureea și alilmetilbutimalonilureea. Vechilor antispasmodice li s-au alăturat antrenilul și izocondentrinul sau izandrilul. Atropinei, daturei, scopolaminei și hioscinei, utilizate în tratamentul bolii lui Parkinson, li s-au adăugat medicamente de sinteză: din grupul antihistaminic, diparcolul, parsidolul, parpanitul, iar din grupul atropinic, artanul şi kemadrinul (acesta din urmă izolat în 1951 de D.W. Adamson, Barreh şi Vilkinson).

Avîntul recent al chemoterapiei psihiatrice a fost atît de mare, încît a determinat cercetări active în domeniul chimiei farmaceutice, cercetări care au dus la realizarea unui mare număr de noi produse.

Primul grup, acela al neurolepticelor, se împarte în două: fenotiazinele, al căror tip este clorpromazina (1953), şi alcaloidele, extrase din *Rauwolfa screpentina*, în special rezerpina (1954). Datorită acţiunii sale tranchilizante, clorpromazina este utilizată în doze mari în psihoze. Printre ceilalţi derivaţi ai fenotiazinei vom cita: metapromazina, levopromazina, acepromazina. Rezerpina este un drog foarte preţios datorită tropismului său rinencefalic şi diencefalic; studiul său nu poate fi separat de cel al serotoninei, prin intermediul căreia se crede că ar acţiona.

Al doilea grup cuprinde droguri, folosite ca tranchilizante minore: hidroxizina, benactizina, meprobamatul şi carbonatul de metil-pentinol.

Două droguri foarte deosebite de precedentele au fost descoperite în 1957 de Kuhn: iprimanina şi iproniazida. Aceste substanţe exercită o acţiune specifică contra stărilor depresive şi mai ales contra melancoliei.

Psihiatrul dispune, deci, de azi înainte de arme chimice capabile să acţioneze asupra unui mare număr de stări depresive, melancolice sau nu. Nu este mai puţin adevărat că acţiunea lor nu este totdeauna satisfăcătoare şi că, la aplicarea lor, trebuie să fim prudenţi, deoarece subestimarea gravităţii unei stări depresive angajează responsabilitatea medicului faţă de riscul sinuciderii. Rămîn însă numeroase psihoze care, datorită caracterului lor grav, necesită alte procedee terapeutice, fie cura de somn, dedusă din lucrările lui Pavlov, fie metodele de şoc: şocul insulinic al lui Sakel (1934), şocul cardiazolic al lui Meduna (1934), electroşocul lui Cerletti (1937), şocul malaric al lui J.von Wagner-Juaregg (1917).

F. TEHNICI DE REANIMARE

Reanimarea s-a născut din lucrările cercetătorilor americani, în special din cele ale lui Gamble, asupra mediului intern şi a echilibrului hidric şi electrolitic al organismului. Ea se impune de urgenţă în cazul unei stări de dezechilibru acut al principalelor funcţii vitale: deshidratare, pierdere de electroliţi, tendinţă la acidoză sau alcaloză, colaps cardiovascular, anemie gravă şi tulburări respiratorii. Este cunoscută reuşita ansamblului acestor tehnici care încadrează actul chirurgical, micşorează extrem de mult riscurile şocului operator şi ale bolii postoperatorii şi asigură o securitate care face posibile intervenţiile cele mai îndrăzneţe.

Reanimarea medicală, devenită la fel de valoroasă ca şi reanimarea chirurgicală, se dovedeşte a fi una dintre realizările cele mai preţioase ale medicinii ultimilor ani. În fiecare zi, numeroşi bolnavi sînt salvaţi datorită tratamentelor etiologice cărora li se adaugă o terapeutică de restabilire a masei sanguine şi de redresare a unei homeostazii fiziologice.

Ea permite reanimarea bolnavilor muribunzi, dar nu poate fi improvizată, ci trebuie să fie efectuată într-un centru unde lucrează un personal medical specializat, prevăzut cu un material corespunzător şi folosind tehnici de laborator bine aplicate. Este un tratament de urgenţă în cazul unui colaps cardiovascular, al unei stări de şoc, al unei arsuri grave, al unei intoxicaţii masive, al unui icter grav, al unei come care se prelungeşte, al unei infecţii generale severe.

Metoda aceasta, deosebit de preţioasă mai ales în toxicozele sugarului, furnizează o soluţie terapeutică foarte satisfăcătoare a unor asemenea deshidratări de formă toxică, răspunzătoare altădată de moartea atîtor copii mici. Karelitz şi Schick (1938) au introdus, primii, tehnica perfuziei venoase la această vîrstă. Fără îndoială, rolul antibioticelor a devenit remarcabil împotriva acestui sindrom cu etiologie aproape totdeauna infecţioasă; dar reanimarea pe cale venoasă este deseori necesară în formele cele mai severe.

Un alt progres însemnat a fost realizat datorită precizării importanţei reanimării respiratorii. Este adevărat că oxigenoterapia este cunoscută de mulţi ani: se utilizează astăzi oxigenoterapia masivă sub cort, care aduce servicii foarte mari, mai ales în cursul bronhopneumopatiilor acute dispneizante ale copiilor mici. Dar această tehnică este nesatisfăcătoare în insuficienţele respiratorii grave de origine neurologică, cum sînt cele din poliomielită şi tetanos, pentru care au fost puse la punct tehnica „plămînului de oţel“ şi aceea a lui Lassen.

„Plămînul de oţel“, aparat respirator ce acţionează pe cale externă, este eficace contra paraliziei muşchilor intercostali ai diafragmului, cu condiţia ca bolnavul să nu aibă obstacole respiratorii. În timpul marii epidemii de poliomielită de la Copenhaga din 1952, Lassen a pus la punct un nou tratament: traheotomia, care permite dezobstruarea traheii şi a bronhiilor, urmată de intubaţie şi de o respiraţie susţinută, fie manual, fie cu ajutorul unui aparat care acţionează prin insuflarea directă de aer în trahee (Engstrom, Bang). Acest tratament a redus considerabil mortalitatea formelor grave ale poliomielitei, dar el nu poate fi aplicat decît sub supraveghere continuă şi într-un serviciu spitalicesc specializat.

În cursul anuriilor persistente, indiferent de cauza lor (septicemie cu bacili perfringens, accident transfuzional, nefrită tubulară toxică), amploarea anomaliilor biologice se dovedeşte a fi atît de mare, încît viaţa bolnavului este repede ameninţată. Necesitatea unei epurări extrarenale devine atunci imperioasă: au fost încercate pe rînd exsanguino-transfuzia (Tzanck şi Bessis, 1945), dializa peritoneală (Derot şi Tanret, 1947), perfuzia intestinală (Hamburger, 1948). Dintre toate metodele propuse pînă azi, cea mai eficace este rinichiul artificial.

Acest nume desemnează un dispozitiv care realizează o circulaţie extracorporală în cursul căreia sîngele este dializat printr-o membrană de celofan faţă de o soluţie salină. Aparatul utilizat este cel conceput de W.J. Kolff (1940—44), iniţiatorul metodei, şi modificat de J.P. Merrill. În cazul unei anurii persistente, una sau mai multe şedinţe de rinichi artificial corectează tulburările biologice, ameliorează semnele clinice și permit supraviețuirea bolnavului pînă la recuperarea funcțiilor renale.

Tehnica modernă de îngrijire a copiilor prematuri este, fără îndoială, una dintre cele mai importante tehnici de reanimare, întrucît ea a făcut să scadă mortalitatea prematurilor de mai puțin de 2000 g, care era de 85%, la aproape 35%.

Această îngrijire cere patru condiții principale: izolare completă și tehnică aseptică a manipulărilor, încălzire, oxigenare și alimentare potrivită. Rezultatele îngrijirii prematurului sînt în strînsă dependență de aceste condiții de creștere, ameliorîndu-se odată cu progresele acestora. Prematurul sustras pericolelor primelor zile are tot mai multe șanse de a putea fi crescut și de a deveni o ființă normală.

În ceea ce privește îngrijirea prematurilor, o cucerire considerabilă a fost crearea unor centre specializate, prevăzute cu incubatoare perfecționate și dotate cu un personal de calitate. Primele centre de creștere a prematurilor au fost create în Anglia (1931), la Birmingham, de Mary Cross, și cam în același timp în S.U.A., la Chicago, de Hess. Dotarea cu centre moderne pentru prematuri a progresat rapid după cel de-al doilea război mondial și s-a răspîndit în multe țări.

Iată un exemplu, printre altele, de binefacerile pe care era medicală modernă le aduce copilăriei. Calitatea mijloacelor de luptă contra infecției, produșii antibiotici, chimici și vaccinali, cunoașterea echilibrelor metabolice și hormonale, tehnicile chirurgiei, anesteziei, respirației, circulației, alimentației, epurării artificiale, toate acestea sînt utilizate de medicina actuală pentru a salva copilul adeseori chiar din momentul cînd acesta vine pe lume și apoi în prima perioadă a vieții, cînd el este încă atît de fragil. Prima epocă a vieții nu este deci în cea mai mică măsură beneficiara revoluției medicale care se realizează în zilele noastre.

G. RADIOTERAPIE

Radioterapia s-a născut îndată după descoperirea radiațiilor X. La început, ea a fost pur empirică, iar aparatura precară: dermatologia este cea care a prilejuit radioterapiei primele ei succese. Încă în 1899, Thor Stenbeck a prezentat primele cancere cutanate vindecate cu radiații X. Mai mult, în 1897, L.Freund iradiase cu succes o tînără purtătoare a unui nev pigmentar întins al spatelui și gîtului.

Tentativele radioterapice s-au extins apoi la leziunile inflamatorii infecțioase și maligne. Din 1902, medicii americani N.Senn și Pusay au provocat regresul unei leucemii prin iradierea adenopatiilor. G.C. Perthes deschide atunci o nouă perioadă a radioterapiei, cea a radioterapiei profunde și, în special, a radioterapiei ginecologice.

Avertizat de Roentgen în privința eterogenității radiațiilor X la ieșirea lor din tub, Perthes a avut ideea să le filtreze prin plăci metalice de diverse grosimi pentru a elimina radiaţiile moi, absorbite de piele şi nocive pentru ea şi a lăsa să treacă doar radiaţiile dure, care puteau atinge organele profunde.

Cancerul sînului este cercetat încă din 1902 de Pfahler, urmat în 1904 de Béclère. În 1904, Foveau de Courmelle publică primul succes radioterapic în fibrom. Între 1912 şi 1920, cancerele colului uterin sînt tratate pe o scară largă, iar numele lui Regaud şi Béclère, Forsell şi Heymann, Bailey şi Healy, Wintz sînt legate de aceste prime succese.

Au fost observate însă şi numeroase accidente, dintre care unele grave. Ele demonstrează necesitatea urgentă a cercetărilor dozimetrice.

Szilard şi Villard s-au gîndit, încă din 1908, să înlocuiască pastilele lui Sabouraud şi Noiré, radiocromometrul lui Holzknecht, sistemul H.E.D. al lui Seitz şi Wintz, prin măsurarea ionizării aerului cu ajutorul radiaţiilor X. Villard dă o primă definiţie fizică a unităţii de ionizare, unitatea V. În 1913, elveţianul Christen dovedeşte paralelismul dintre efectul iradierii şi doza volum, pe care o califică drept doză biologică.

Aceste cercetări, la care participă S. Dauvillier, Danne şi Coliez în Franţa, Holthusen, Glocker şi Yzeger în Germania, Mayneord şi Bragg în Anglia şi Gray, Failla şi E. Quimby în Statele Unite, duc la construirea unor noi instrumente de măsură şi la definirea lui *r* internaţional (Stockholm, 1928), adoptat de Congresul de la Chicago, din 1937.

În toată această perioadă, lucrările terapeutice au fost foarte numeroase.

În 1904, Bergonié şi Tribondeau, pornind de la iradierea tisulară, enunţă legea care le poartă numele. În 1921, Gilbert de Genève codifică tratamentul maladiei lui Hodkin. În 1922, Regaud, Coutard şi Hautant publică prima lucrare de ansamblu asupra a şase cazuri de cancer al laringelui iradiate, cu obţinerea a cinci vindecări. Tratamentul cancerului colului uterin face obiectul unor importante lucrări ale lui S. Laborde în 1925, Ducuing în 1932 şi Heymanna în 1935. La fel, cancerul sînului. În 1928, Hoedelfer face cunoscută metoda sa de iradiere prin cîmpuri tangenţiale, iar în 1950, Maisin publică raportul cel mai important asupra acestei spinoase şi pasionante probleme.

Începînd din 1930, realizarea de ciclotroane şi de acceleratoare de particule, tot mai puternice, descoperirea radioactivităţii artificiale şi utilizarea de reactoare nucleare au permis terapeuticii să dispună de noi energii corpusculare şi de noi radiaţii.

Utilizarea radioelementelor artificiale a cunoscut o dezvoltare rapidă.

Încă din 1936, G. von Hevesy studiază metabolismul P^{32} la şobolan. În 1939, Hamioton studiază fixarea iodului radioactiv în tiroidă, iar în 1946 publică, împreună cu J. Lawrance, primele rezultate ale tratamentului hipertiroidiei cu I^{128}. Lawrance tratează cu P^{32} poliglobulia (1940) şi publică rezultatele aplicării acestei tehnici în leucemia mieloidă (1946).

Keyston (1942) şi Marinelli (1947) publică tehnicile şi rezultatele lor în legătură cu acţiunea exercitată de I^{131} în cancerul tiroidian. În 1947, Morton şi Myers stabilesc principalele aplicaţii terapeutice ale Co^{60}. În 1950, Sherman, Nolan, Allen studiază aplicaţiile experimentale ale aurului radioactiv în tratamentul cancerului uterului. Friedel şi Storaalsi publică în acelaşi an o lucrare în care arată acţiunea P^{32} asupra cancerului sînului cu metastaze osoase întinse, după încercările întreprinse de Stone la San Francisco în 1942.

Din 1950 şi pînă în 1959 sînt efectuate numeroase studii asupra radioterapiei cu „bomba" cu Co^{60}, ele demonstrînd posibilităţile şi avantajele acesteia pentru bolnavi, mai ales în cancerele esofagului, plămînului, uterului şi laringelui. Toate insistă asupra avantajelor imediate, dar este încă prea devreme pentru a ne face o idee exactă asupra rezultatelor pozitive ce i se pot atribui. De fapt, lucrurile stau la fel şi în privinţa terapeuticilor cu radiaţii de mare energie.

În 1939, L. Lawrence şi Stone, lucrînd la San Francisco, încep să trateze cancerele cu ajutorul unui cîmp de neutroni proveniţi dintr-un ciclotron. În 1940, împreună cu Abbersold, ei studiază acţiunea neutronilor rapizi în tratamentul afecţiunilor maligne. Dacă în 1958, Tubiana insistă asupra bunelor rezultate imediate ale tratamentului cancerelor esofagului cu betatronul, el este foarte sceptic în ceea ce priveşte rezultatele îndepărtate.

Dar utilizarea acestor energii înalte demonstrează necesitatea limitării unităţii *r* la cele care nu depăşesc 3 MeV; această limită este adoptată în 1950 la Congresul de la Londra care consacră în acelaşi timp, „rad"-ul, noua unitate de energie absorbită.

În ciuda apariţiei acestor terapeutici, complexe şi precise, dată fiind natura radiaţiilor puse în joc, radioterapia convenţională îşi continuă progresele.

Radioterapia cu radiaţii limită, întrevăzută de Belot şi Lindemann încă din 1908, este realizată de Bucky în 1924. În 1934, Chaoul publică primele sale lucrări privind utilizarea sistematică a radioterapiei de contact. Lamarque şi Gros, în Franţa, contribuie din plin la dezvoltarea ei datorită tubului Intrix, care permite o mai uşoară iradiere intracavitară. Mayneord dezvoltă teoria sa, a dozei integrale tisulare, şi sugerează utilizarea roentgen-gramului. Dumesnil de Rochemont studiază, în 1937, modalităţile tehnice ale cicloterapiei propuse de Pohl, Mallet şi Proux. Marques, Canihac şi Vulpian aduc în acest sens o importantă contribuţie, în Franţa, folosind metode diferite. Björk şi englezul Linley propun în 1948 o tehnică de cîmpuri mici dispusă în coroană, tehnică reluată de Smithers şi Winternitz.

R. Paterson şi Parker propun *sistemul Manchester* (1946). În sfîrşit, metoda izodozelor, studiată de Dessauer şi de Coliez încă în 1922, se dezvoltă mai ales în ţările anglo-saxone, datorită lui Mayneord, Paterson şi Lamerton, Failla şi E. Quimby.

Progresele în radioterapie necesită o aparatură tot mai complexă şi impun astăzi metode de lucru omogene, care să poată fi utilizabile în întreaga lume.

H. EVOLUŢIA CHIRURGIEI

Progresele chirurgiei în ultimii 50 de ani nu au fost mai puţin surprinzătoare decît cele ale medicinii; dar, ca şi în medicină, descoperirile în domeniul ştiinţelor biologice sînt cele care le-au făcut posibile. Dacă îndemînarea operatorie îi este necesară chirurgului, chirurgia nu este decît în parte o activitate manuală. Actul chirurgical, care întrerupe temporar integritatea unui mecanism atît de delicat ca organismul uman, poate fi inofensiv şi eficace numai printr-o cunoaştere precisă a funcţionării acestui organism, a nevoilor şi a suferinţelor sale, pentru a fi în măsură a le satisface pe unele şi a le atenua pe celelalte.

Descoperirea şi aplicarea anesteziei au permis primele ei utilizări în chirurgie în secolul al XIX-lea, datorită lucrărilor lui H. Wells, W. Morton, J.Y. Simpson etc. Dar în ultimii 50 de ani, anestezia s-a transformat uimitor de mult. Ea şi-a pierdut aspectul empiric; anesteziile au devenit frecvente, aparatele s-au perfecţionat.

Aparatul pus la punct de Ombredanne în 1908 era atît de remarcabil prin simplitatea şi prin relativa sa inocuitate, încît probabil că el a făcut să întîrzie multă vreme răspîndirea tehnicilor anestezice moderne şi a drogurilor anestezice nevolatile, cel puţin în Franţa. Astăzi, aparate din ce în ce mai perfecţionate reglează ştiinţific anestezia (aparatele lui Foregger, Neidbrink, Mc.Kesson etc.), permit realizarea anesteziei în circuit închis, devenită posibilă datorită lui D. E. Jackson, care, în 1915, a construit un aparat ce absoarbe gazul carbonic, şi lui R. M. Waters, care a inventat cuva cu calciu sodat. Dacă intubaţia traheală este utilizată în laboratoarele de fiziologie de la începutul secolului, dacă ea s-a perfecţionat în timpul primului război mondial datorită lucrărilor lui Magill şi ale lui Rowbotham, ea nu s-a răspîndit decît 25 de ani mai tîrziu, înlocuind definitiv tentativele de respiraţie artificială („în cheson"), al căror model este camera lui Sauerbuch.

Atîtea progrese au făcut ca anestezia să devină o disciplină specială şi ca mortalitatea prin narcoză practic să dispară.

Se ştie că asepsia este cea care a permis naşterea chirurgiei moderne şi că de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, chirurgii au trecut la exploatarea marii victorii pasteuriene. Această exploatare a devenit mai fructuoasă odată cu apariţia antibioticelor şi a chemoterapiei antiinfecţioase, care permit astăzi, prin eliminarea infecţiei, intervenţiile cele mai îndrăzneţe, cu o siguranţă mărită.

Progresele reanimării, însoţite de o corectare satisfăcătoare a perturbărilor electrolitice, de utilizare curentă, după cel de-al doilea război mondial, a transfuziilor sanguine, permiţînd compensarea pierderilor de sînge operatorii, au făcut să dispară sau să se atenueze mult şocul postoperator.

În acest mod, în ultimii 50 de ani s-au conturat indicaţiile operatorii, au fost inventate şi puse la punct tehnicile operatorii. Lista noilor intervenţii este aproape nelimitată: extirpări ale diferitelor segmente ale tubului digestiv, extirparea cancerelor, suturi nervoase, grefe cutanate etc. Secolul al XX-lea este martorul înfloririi noii chirurgii.

CHIRURGIA ORTOPEDICĂ. Creşterea constantă a numărului de accidente face să fie tot mai preţioasă această ramură a chirurgiei.

În Statele Unite, Bosworth, Thompson, Moore, Compere, Wilson, Stirling Bunnel au atacat cu succes numeroase şi dificile probleme ortopedice, în special osteosintezele metalice ale fracturilor şi grefele osoase. Jaffé, Lichenstein, Dahlin au elucidat dificila anatomie patologică a tumorilor şi distrofiilor osoase. În Anglia, Watson, Jones Charnley, Seddon, Trueta creează centre moderne de traumatologie-ortopedie, unde reeducarea-readaptarea este tot mai bine studiată. Smith-Petersen este unul din marii inovatori în chirurgia şoldului. În Germania, Pauwels deschide o cale foarte fructuoasă în tratamentul afecţiunilor osteoarticulare. În Franţa, Merle d'Aubigné, Judet, Petit etc. fac din ortopedie o specialitate de primă importanţă.

CHIRURGIA TORACICĂ. Din 1932, chirurgia toracică se plasează în fruntea progreselor chirurgicale, datorită tehnicilor amintite, datorită rezolvării celor mai multe dintre problemele fiziologice ale ventilaţiei pulmonare şi ale circulaţiei sanguine, ca şi datorită descoperirii medicamentelor anticoagulante, care înzecesc posibilităţile chirurgiei inimii şi vaselor.

R.E. Gross, în 1939, atacă — primul în lume — o cardiopatie congenitală şi leagă cu succes un canal arterial. C. Crafoord, în 1944, operează şi vindecă o stenoză congenitală a aortei. A. Blalock şi H. Taussig inventează în 1945 anastomoza care ameliorează starea copiilor „albaştri". În 1938, Crafoord reuneşte 118 observaţii de pneumonectomii, cărora le adaugă şase observaţii personale. În 1945, Sweet răspîndeşte o metodă operatorie simplă şi eficace a pneumonectomiei. Lobectomiile, segmentectomiile, pneumonectomiile devin curente în chirurgia pulmonară, fiind acum abordate şi cancerele bronho-pulmonare.

Recurgînd la anestezii şi la transfuzii corecte, la medicaţiile antiinfecţioase, orice act chirurgical devine posibil, cu singura rezervă ca inima să bată pentru a asigura irigarea organismului, în primul rînd a inimii însăşi, a creierului, a rinichilor. Chirurgii au aflat curînd că orice oprire a circulaţiei depăşind patru minute este urmată imediat de moarte.

În 1948, s-a pătruns în chirurgia directă intracardiacă, prin valvulotomia lui R.C. Brock, contra stenozei arterei pulmonare din trilogia lui Fallot, şi prin închiderea comunicaţiilor interatriale (Bailey, 1950).

Dar aceste metode dădeau rezultate variabile, adesea incomplete, dat fiind că chirurgul opera orbeşte, fără controlul vederii. Dacă actul său se dovedea eficace cînd era vorba de un obstacol orificial izolat, abordarea muşchiului cardiac sau a defectelor de sept, variabile ca localizare, dimensiuni şi morfologie, părea să fie periculoasă. Devenea necesar în cazul anumitor cardiopatii congenitale să se poată lucra pe inima deschisă. Acest progres părea posibil graţie tuburilor din material plastic, siliconilor, anticoagulantelor, metodelor de respiraţie controlată şi de respiraţie asistată, graţie activităţii anestezistului reanimator, realizării actului operator de către o echipă medico-chirurgicală preocupată de rezolvarea multiplelor probleme tehnice, sprijinului oferit de tehnicile radiologice, electrice şi homodinamice pre- şi postoperatorii.

În 1949 începe să se opereze sistematic pe inima însăşi, atunci cînd Bailey (S.U.A.) şi Brock (din Londra) pun la punct comisurotomia mitrală.

În timp ce inima continuă să bată, se introduce printr-o deschidere îngustă degetul şi apoi un dilatator, care lărgeşte orificiul atrio-ventricular stîng, bolnav şi strîmtat. Această operaţie, efectuată „à l'aveugle" (orbeşte), sau cu „inima închisă", dă rezultate excelente. Mii de bolnavi operaţi o demonstrează astăzi. De notat că ideea operaţiei era veche, întrucît tentativele analoage pe om ale lui Allen şi Graham au avut loc încă în 1922, dar cu opt morţi intraoperatorii şi cu o supravieţuire de cîteva luni. Astăzi mortalitatea nu atinge nici 10%.

În cursul ultimilor zece ani, chirurgia toracică a făcut progrese remarcabile, datorită mai ales utilizării hipotermiei, circulației încrucișate și inimii-plămînului artificial.

Un progres răsunător a fost realizat în cursul anilor 1953—54 de Swan, datorită hipotermiei, care permite închiderea comunicațiilor interatriale pe inima deschisă, cu condiția ca intervenția să nu depășească 6 minute; aceasta era o exigență destul de severă, cu atît mai mult cu cît hipotermia, bine suportată de pacientul tînăr, se dovedește mai agresivă la adult.

În 1954, Lillehei pune la punct circulația încrucișată. Aceasta permite deschiderea auriculului drept și a ventriculului drept și realizarea, sub control vizual, a unor manopere de chirurgie reparatoare a dehiscențelor septale interauriculare sau interventriculare și a obstacolelor căii arteriale pulmonare în porțiunea infundibulară. Dar metoda se dovedește a fi foarte delicată, deoarece chirurgul nu dispune decît de un răstimp de 15—20 de minute.

În 1955, Lillehei adaptează pompei sale oxigenatorul lui Wall. El află soluția unei probleme studiate de peste zece ani, concepînd un aparat capabil să asigure funcționarea inimii și a plămînilor după întreruperea circulației în aceste două organe, adică inima-plămînul artificial. Pe de altă parte, Kerklen și colaboratorii săi (1956) operează cu ajutorul unui aparat la care dificultățile inerente ale debitului sînt rezolvate într-un mod elegant, datorită dispozitivelor electronice puse la punct de specialiști de la *Air Force* (S.U.A.).

Cu ajutorul sistemului inimă-plămîn artificial, intervenția directă pe o cavitate cardiacă lipsită de sînge permite astăzi corectarea comunicațiilor interauriculare, interventriculare simple sau cu hipertensiune pulmonară, ale stenozelor arterei pulmonare și ale complexului Eisenmenger.

Asemenea intervenții sînt efectuate mai comod oprind bătăile inimii prin injectarea în baza aortei clampate a unei soluții de citrat de potasiu și permițînd astfel chirurgului să lucreze pe o inimă fără sînge și imobilă, care va reîncepe să bată îndată după declamparea aortică (Esmer, 1956).

Se cuvine să amintim și despre tehnicile de reanimare cardiacă, masajul inimii și utilizarea unui defibrator, capabile să readucă la viață pe indivizii în stare de moarte aparentă, tehnici utilizate cu succes în condițiile chirurgicale cele mai variate, dar capabile să readucă la viață și bolnavii care sînt victime ale unui stop cardiac brutal, așa cum dovedesc unele observații surprinzătoare (Brown, Knudson și Schroeder, 1957; Beck, Weckesser și Barry, 1956).

NEUROCHIRURGIA. Leagănul neurochirurgiei este Anglia, unde au fost operate pentru prima oară abcese cerebrale (W. Macewen, 1883) și a fost îndepărtată prima tumoare cerebrală (Macewen, 1879) și prima tumoare care comprima măduva (W. Horsley, 1887).

Încă la sfîrșitul secolului al XIX-lea, Horsley a reușit ablația unui mare număr de tumori cerebrale și medulare diverse. Voletul osteoplastic provine de la W. Wagner (1889), ferăstrăul de la L. Gigli (1890), iar ceara pentru hemostaza osului și mușchiul pentru cea a creierului, de la Horsley.

La începutul secolului al XX-lea, americanul H.W. Cushing a înţeles, primul, că — pentru a reuşi — neurochirurgul trebuie să cunoască anatomia, fiziologia, patologia sistemului nervos, precum şi neurologia clinică, astfel putîndu-şi asuma responsabilitatea diagnosticului, ca şi a actului operator.

În 1911, el inventează pensa de argint şi tot el este primul care va utiliza electrocoagularea, începînd din 1927.

Împreună cu colaboratorii săi (Horrax, Sachs, Bailey), izolează şi descrie aproape toate varietăţile de tumori cerebrale: glioame, meningioame cu localizare şi de tipuri diverse, adenoame ale hipofizei, craniofaringioame, neurinoame ale nervului acustic. El creează metode operatorii pentru fiecare, iar pentru tumorile ce nu pot fi extirpate preconizează în 1905 decompresiunea subtemporală.

Americanii W. G. Spiller şi Ch. H. Frazier introduc secţionarea retrogasseriană a rădăcinilor trigemenului (1901), perfecţionată de Adson şi mai tîrziu de Peet (1918). Aceştia din urmă introduc şi cordotomia în chirurgia durerii (1912).

Prin ventriculografie, în 1918, şi encefalografie (1919), W.E. Dandy creează o nouă eră în neurochirurgie. El începe să opereze chiar şi tumorile ventriculilor laterali, ale celui de-al treilea ventricul şi cele ale epifizei.

Pornind de la aceste lucrări şi de la cele ale lui Cushing, neurochirurgia se răspîndeşte în lume. Promotorii săi au fost O. Foerster în Germania, Th. de Martel şi Clovis Vincent în Franţa, Penfield în Canada. Prin Vincent şi elevii săi, neurochirurgia franceză se dezvoltă şi cunoaşte, între 1930 şi 1940, o mare expansiune. În această epocă, diagnosticul precoce şi extirparea totală a tumorilor cerebrale devin obiectul eforturilor sale, dar ea abordează şi alte leziuni.

Epilepsia şi tratamentul ei neurochirurgical sînt studiate în mod deosebit de Foerster şi Penfield; diagnosticul tumorilor cerebrale este înlesnit prin generalizarea electroencefalografiei şi a neuroradiologiei (Lindgren).

Neurochirurgia se preocupă şi de malformaţiile vasculare cerebrale, de anevrismele saculare şi arterio-venoase. Datorită angiografiei este instituit un tratament raţional al acestor malformaţii vasculare.

Inspirată de lucrările fiziologice ale lui Penfield, lobotomia prefrontală (Antonio de Egas Moniz, 1936) a deschis calea „psihochirurgiei" (Almeidolima, Freeman şi Watts, Poppen).

Actualmente tendinţa este în favoarea ablaţiilor limitate (Fulton, Le Beau) sau a distrugerilor selective corespunzător diferitelor sindroame mentale sau dureroase. Chirurgia diskineziilor cunoaşte succese în sindromul lui Parkinson, cu distrugerea localizată a ansei lenticulare şi a pallidumului (Russel, Meyers).

Această chirurgie, care urmăreşte producerea unei leziuni limitate, selective, într-un punct bine determinat al creierului, fără a vătăma celelalte structuri, este realizată printr-o metodă specială: stereotaxia, pusă la punct de Spiegel şi Wycis (1947), Talairach şi David (1949), al cărei principiu derivă de la aparatul construit în 1908 de Horsley şi Clarke în scopuri experimentale. Stereotaxia deschide vaste posibilităţi investigaţiilor fiziologice şi aplicaţiile sale terapeutice vor fi, desigur, numeroase (în epilepsie).

Această rapidă trecere în revistă demonstrează că domeniul neurochirurgiei s-a extins considerabil. Menţionăm şi malformaţiile (spina-bifida, craniostenoza, fistula dermică), traumatismele craniene, herniile de disc care se restabilesc prin intervenţii chirurgicale.

CHIRURGIA SURDITĂŢII. Această chirurgie s-a dezvoltat mai ales în ultimii 30 de ani şi se aplică astăzi cu cel mai mare succes în otospongioze, în otoscleroze şi în unele malformaţii.

În 1914, R. Bárány descrie o tehnică de deschidere a canalului semicircular posterior, dar cîştigul auditiv primar imediat nu poate fi menţinut. În 1917, Holmgren realizează un mare progres prin utilizarea aparatelor optice măritoare. Între 1927 şi 1937, M. Sourdille reuşeşte — primul — să conserve cîştigul auditiv al fenestraţiei (graţie lamboului care leagă fistula cu sistemul timpanal). În 1938, J. Lempert dă dezvoltare intervenţiei lui Sourdille, pe care o modifică (procedeul într-un timp, calea endaurală). G. E. Shambaugh (1942) şi Aubry (1947) perfecţionează şi simplifică intervenţia. În 1952, Rosen descrie metoda sa de mobilizare a scăriţei. În 1951—52, Wullstein şi Zollner pun la punct metoda lor de timpanoplastie.

În 1957, Ombredanne demonstrează existenţa unor malformaţii congenitale ale oscioarelor, în special ale scăriţei, în timp ce pavilionul, canalul şi timpanul sînt normale, şi arată că ar trebui căutată prezenţa unor aplazii la anumiţi surzi.

Numeroase descoperiri vin, în sfîrşit, să amelioreze aparatajul surdităţii. În 1932, H. Lieber imaginează primul aparat cu conducţie osoasă. Din 1948, în aceste aparate sînt utilizaţi tranzistorii.

CHIRURGIA ÎN OFTALMOLOGIE. Chirurgia a realizat importante succese şi în domeniul oftalmologiei.

Extracţia intracapsulară a cataractei înlocuieşte extracţia extracapsulară: perfecţionarea penselor permite astăzi asemenea extracţii, iar perfecţionarea acelor şi a materialului de sutură îngăduie suturile corneene şi corneo-sclerale. În ultimii ani s-au produs primele încercări de înlocuire a cristalinului printr-o lentilă transparentă din material plastic (lentila lui Nidley, lentila lui Stampelli).

Tratamentul chirurgical al glaucomului cunoaşte, de asemenea, importante perfecţionări.

Iridectomia lui von Graefe (1866), singura cunoscută la începutul secolului, s-a dovedit nesatisfăcătoare în glaucomul cronic. Atunci au fost imaginate operaţiile fistulizante: sclerecto-iridectomia cu cuţitul lui F. Lagrange în 1907, sclerecto-iridectomia cu trefină a lui R. H. Elliot în 1908. Iridencleisis-ul, descris de S. Holth în 1907, tinde de 15 ani să se generalizeze ca operaţia antiglaucomatoasă cea mai simplu de practicat şi una dintre cele mai eficace.

În glaucomul infantil, O. Barbran (Statele Unite) descrie goniotomia, care tinde să suprime malformaţiile unghiului iridocornean aflate la originea glaucomului infantil.

Începînd din 1920, J. Gonin pune în evidenţă importanţa rupturii retiniene în desprinderea de retină. Actualmente, obliterarea rupturii retiniene, prin galvano-cauterizare, diatermo-coagulare izolată sau asociată cu o rezecţie sclerală lamelară, permite vindecarea desprinderii de retină în 50% din cazuri.

Keratoplastiile perforante sau lamelare au fost realizate experimental de Magitot în 1909. Lucrările lui A. Elschnig, în 1914, şi cele ale lui V.P.F. Filatov, începînd din 1923, au permis realizarea primelor grefe de cornee la om.

De fapt, aceste grefe s-au generalizat îndată ce rezultatele au autorizat în fiecare ţară prelevarea precoce de la cadavre (la mai puţin de şase ore după moarte). În 1945 a fost realizată în Statele Unite prima „bancă" de ochi; un organism analog a fost creat în Franţa, în 1947. Actualmente ne orientăm spre utilizarea de organe conservate.

■

Toate aceste ramuri chirurgicale au depăşit stadiul meşteşugăresc al începuturilor lor. Chirurgia modernă pretinde mijloace materiale eficiente, organizare de ansamblu, muncă în echipă, toţi participanţii fiind angajaţi într-o operă comună. Aceasta este condiţia succeselor amintite, dintre care unele par astăzi să reprezinte adevărate miracole.

Chirurgia se străduieşte să rezolve problemele grave care i se mai prezintă. Grefele osoase sînt practicate încă de la începutul secolului; de curînd se practică grefele de artere; alături de „băncile" de sînge se organizează „bănci" de oase şi „bănci" de artere (încercările de grefare a organelor întîmpină dificultăţi biologice (Hamburger şi col.). Dar oricît de întins a devenit domeniul de acţiune al chirurgiei, oricît de eficace se prezintă astăzi rezultatele obţinute, nu este mai puţin adevărat că tratamentul chirurgical al cancerului rămîne mutilant, iar rezultatele sale inconstante. Embolia pulmonară, deşi rară, îi mai ameninţă pe cei operaţi, uneori chiar după intervenţiile cele mai simple.

CONCLUZII

Tabloul medicinei secolului al XX-lea, pe care l-am schiţat în cîteva trăsături, confirmă, credem noi, impresia evocată la începutul acestei expuneri, a unui val neîntrerupt de descoperiri importante şi al unei totale schimbări de aspect a patologiei şi biologiei. În încheiere am vrea să atragem atenţia asupra cîtorva elemente care contribuie la conturarea fizionomiei medicinei contemporane.

Observatorul este de la bun început impresionat de vocaţia spre cercetare medicală şi biologică, care atrage un mare număr de tineri. Setea de cunoaştere, dorinţa de a înţelege sînt sentimente foarte puternice printre oamenii generaţiei actuale şi, mai mult încă, printre cei ai generaţiei care se ridică. Năzuinţa de a învinge natura este puternic stimulată, iar victoriile stimulează entuziasmul. În diferite părţi ale lumii, institutele de cercetări, centrele de studii, fundaţiile destinate dezvoltării ştiinţelor medicale şi aplicaţiilor lor au luat o foarte mare extindere.

Pe de altă parte, pentru îndeplinirea efortului de a face ca protecția omului sănătos* și vindecarea omului bolnav să profite de toate invențiile și tehnicile științelor vecine, se accentuează împărțirea rapidă a medicinei în discipline variate. Afirmația este valabilă și în ceea ce privește lucrul în echipă, care devine utilă și adesea necesară pentru înțelegerea specificului fiecărui individ și pentru tratamentul fiecărui caz. Problema specializării medicale și cea a activității de grup se pun în mod acut medicinei moderne.

Dealtfel, instrumentația a devenit foarte complexă, foarte costisitoare, ca și experimentarea. Cheltuielile de cercetare, pe de o parte, precum și cele pe care le impune în mod curent stabilirea diagnosticului și a tratamentului pentru o boală oarecare, pe de altă parte, ridică probleme economice foarte grave. Apare, astfel, necesitatea unor instituții generoase, fundații, credite bugetare înscrise în bugetul statului. Colectivitatea trebuie să suporte povara pe care o reprezintă atît cercetarea, cît și îngrijirile medicale. Devine astfel clară această dublă tendință: crearea asigurărilor sociale, a securității sociale, a medicinei publice, a serviciilor naționale de sănătate, a spitalelor moderne, pentru a suprima în fiecare țară inegalitatea în fața suferinței, a bolii și a morții. Pe de altă parte, constituirea unor instituții internaționale destinate acestei sarcini urmărește să micșoreze deosebirile dintre popoarele Pămîntului față de flagelurile morbide. Descoperirile industriei și asistența caritabilă ne ajută mult, întrucît o foarte mică sumă pe cap de locuitor este suficientă pentru a învinge calamitățile microbiene cele mai înspăimîntătoare și mai redutabile.

Într-adevăr, nu trebuie să credem că măsurile și investigațiile medicinei moderne cu complexitatea lor uimitoare și ingeniozitatea lor minunată ar fi rezervate cercetării pure, dezinteresate, detașată de om și de suferințele lui: nicidecum! Cu o extremă rapiditate, în epoca noastră industrializată, practica pune stăpînire pe tehnici și le adaptează activității medicale de fiecare zi.

Efortul devine tot mai puternic pentru a asigura fiecărui medic din lume cunoașterea oricărei descoperiri sau tehnici noi. Însăși rapiditatea aplicării și folosirii descoperirilor este una dintre caracteristicile acestor ultimi douăzeci de ani de viață medicală. Și cum boala lovește mai ales populațiile pe cale de dezvoltare economică și socială, unul dintre cele mai intense eforturi ale umanității va trebui să fie, în cursul secolului al XX-lea, de a face ca fiecare om de pe Pămînt să profite de medicina modernă.

---

* Printre domeniile medicinii în care terapeutica a înregistrat rezultate marcante în ultimele decenii este și gerontologia, reprezentată în România de Ana Aslan. Preparatele realizate de colectivul pe care îl conduce, „gerovital“, „aslavital“ etc., sînt folosite cu bune rezultate în tratamentele de geriatrie. — *Nota red. rom.*

BIBLIOGRAFIA GENERALĂ A PRIMELOR CINCI PĂRȚI

CADRUL ISTORIC

M. CROUZET, *Epoca contemporană* (Istoria generală a civilizațiilor, vol. VII), ed. a 3-a, Paris, 1961.
P. RENOUVIN, *Criza europeană (1904—1918) și primul război mondial* (Popoare și civilizații, vol. XIX), ed. a 4-a, 1962.
M. BAUMONT, *Falimentul păcii* (Popoare și civilizații, vol. XX), ed. a 4-a, 2 vol., 1960—1961.
J. PIRENNE, *Marile curente ale istoriei universale*, vol. VI și VII, Paris, 1955—1956.
P. RENOUVIN și colaboratorii, *Pacea armată și marele război (1871—1919)*, ed. nouă, 1960.

BIBLIOGRAFIE

G. SARTON, *Horus*..., Waltham (Mars.), 1952.
F. RUSSO, *Histoire des sciences et des techniques: Bibliografie*, Paris, 1954.
J. C. POGGENDORFF, *Biographisch-Literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften*, vol. 4, 5, 6 (4 părți), 7a (4 părți), Leipzig, 1904—1962.
***Bibliografii periodice publicate de „Bulletin signalétique du C.N.R.S." *(Histoire des Sciences)* și de revista „Isis".

ȘTIINȚĂ, TEHNICĂ ȘI SOCIETATE

A. N. WHETEHEAD, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1925.
J. G. GROWTHER, *The Social Relations of Science*, Londra, 1941.
P. DUNSHEATH, *A Century of Technology*, Londra, 1951.
L. MUMFORD, *Technique et civilisation* (trad. în lb. franc.), Paris, 1951.
L. LEPRINCE-RINQUET (edit.), *Les inventeurs célèbres*, Paris, 1951.
G. BACHELARD, *Le matérialisme rationnel*, Paris, 1953.
J. D. BERNAL, *Science in History*, Londra, 1954.
B. RUSSELL, *The Impact of Science on Society*, New York, 1956.

ISTORIA ȘTIINȚEI ÎN GENERAL

E. PICARD etc. și M. CAULLERY, *Histoire des sciences en France*, 2 vol., Paris, 1924 (vol. XIV și XV din *Histoire de la nation française*, de G. HANOTAUX*)*.
P. SERGESCU, J. ROSTAND, H. BOUTARIC, *Les sciences (Tableau du XXe siècle: 1900—33)*, Paris, 1933.
P. ROUSSEAU, *Histoire de la science*, Paris, 1945.
****Cinquante années de découvertes*, Paris, 1951.
H. DINGLE, *A Century of science*, Londra, 1951.
J. G. GROWTHER, *British Scientists of the XXth Century*, Londra, 1951.
L. DE BROGLIE, *Savants et découvertes*, Paris, 1951.
S.F. MASON, *Histoire des sciences* (trad. în lb. franc.), Paris, 1956.
L. LEPRINCE-RINQUET (edit.), *Grandes découvertes de XXe siècle*, Paris, 1956.
M. DAUMAS (edit.), *Histoire de la science*, Paris, 1957.
N. ALBAGNANO, *Storia delle Scienze*, Torino, 1962.
*** *Nobel, the man and his prizes*, Amsterdam, 1962.

MATEMATICA

Majoritatea tratatelor de istorie a științelor nu prezintă decît o trecere în revistă sumară a realizărilor din secolul al XX-lea. În schimb, sînt numeroase lucrările științifice care prezintă un tablou al evoluției recente a domeniului științific la care se referă. Ne vom mărgini aici la indicații bibliografice limitate, trimițînd cititorii pentru probleme esențiale la bibliografiile furnizate de lucrările generale citate, precum și la marile reviste științifice: „Nature", „Science", „Scientific American", „American Scientist", „Sciences", „Sciences-Progrès", „La Nature", „Atomes" etc. și la revistele rezumate analitic.

Encyclopèdie française (vol. 1—8 şi vol. 12, împreună cu „Cahiers d'actualité et de synthèse", Paris, după 1936), *Encyclopedia of Science and Technology* (15 vol., New York, 1960) permit în special obţinerea de referinţe exacte asupra problemelor principale.

Pentru matematică, cităm lucrările lui F. CAJORI, J. CAVAILLÉS, A. CHURCH, J. L. COOLIDGE, L. E. DICKSON, F. LE LIONNAIS, P. MONTEL, J. R. NEWMAN, M. D'OCAGNE, O. ORE şi H. M. WALKER menţionaţi în volumul precedent (pag. 604—606), precum şi E. CARRUCCIO, *Corso di Storia della matematiche*, Torino, 1951.
N. BOURBAKI, *Eléménts d'histoire des mathématiques*, Paris, 1960.

ŞTIINŢE FIZICE

****Encyclopédie française*, vol. II şi XII, Paris, 1956 şi 1958 cu bibliografii importante.
J. THEWLIS (edit.), *Encyclopaedie Dictionary of Physics*, 6 vol., Oxford, 1961—1962.

Lucrările lui G. BACHELARD, E. BANETE, A. J. BERRY, W. BRAGG, CH. A. BROWNE, E. B. BURTT, R. S. CLAY şi T. H. COURT, R. DUGAS, H. E. FIERZ-DAVID, A. FINDLAY, H. M. LEICESTER, F. LIEBEN, E. MACH, W. F. MAGIE, H. MITTASCH, J. R. PARTINGTON, J. PERRIN, C. PLA, V. ROUCHI, M. ROOSENBOOM, G. URBAIN şi M. BOLL, M. E. WEEKS, E. T. WHITTAKER, A. WILSON, citaţi în volumul precedent (pag. 614—617).

L. B. LOEB şi A. S. ADAMS, *The Development of Physical Thought*, New York, 1933.
E. ZIMMER, *The Revolution in Physics*, Londra, 1936.
C. MOLLER şi E. RASSMUSSEN, *The World and the Atom*, Londra, 1940.
S. GLASSTONE, *Source Book on Atomic Energy*, New York, 1950.
M. VON LANE, *Histoire de la Physique*, Paris, 1950.
L. DE BROGLIE, *Savants et découvertes*, Paris, 1951.
M. DE BROGLIE, *Les premiers congrès de physique Solvay*, Paris, 1951.
G. HOLTON, *Introduction to Concepts and Theories in Physical Sciences*, Reading, 1956.

Dintre numeroasele bibliografii, vom cita:

A. S. EVE, *Rutheford*, Cambridge, 1939.
PH. FRANK, *Einstein*, Paris, 1950.
****L. de Broglie*, Paris, 1953.
M. CURIE, *P. Curie*, Paris, 1955.
L. FERMI, *E. Fermi*, Paris, 1955.
C. G. I. SMITH, *I. Langmuir*, Londra, 1962.

ŞTIINŢELE PĂMÎNTULUI ŞI UNIVERSULUI

****Encyclopédie française*, vol. 3, 1956.

Studiile lui G. ABETTI, A. ARNUTAGE, F. BECKER şi E. ESCLANGON, C. C. BERINGER, A. DANGON şi A. COUDER, CH. DAVISON, P. VON GROTH, H. HÖLDER, H. C. KING, E. DE MARGERIE, K. F. MATHER şi S. I. MASON, G. PERRIER, G. SARTON, A. TERTSCH, R. L. WATERFIELD, F. E. ZEUNER, citate în volumul III (pag. 614).

****Vistas in Astronomy*, 3 vol., Pergamon Press.
J. A. HYNEK (edit.), *Astrophysics*, New York, 1953.
H. JEFFREYS, *The Earth*, ed. a 3-a, Cambridge, 1952.

ŞTIINŢELE VIEŢII

****Encyclopédie française*, vol. 4 şi 5, 1937, cu aduceri la zi.
P. GRAY, *The Encyclopedia of the Biological Sciences*, Reintrold, 1961.
A. PI. SUNER, *Classics of Biology*, Londra, 1955.
M. L. GABRIEL şi S. FOGEL (edit.), *Great Experiments in Biology*, ed. a 6-a, Prentice Hall, 1960.

Studiile lui E. B. ALMQUIST, L. ASCHOFF, S. A. BARNETT, E. BASTHOLM, F. S. BODENHEIMER, M. BOULE, F. BOURLIÈRE, F. O. BOWER, CH. M. C. BROOKS şi P. F. CRANEFIELD, W. BULLOCK, CALIFORNIAN ACADEMY OF SCIENCE, H. G. CANNON, G. S. CARTER,

E. L. CORE, J. CONSTANTIN, A. DAVY DE VIRVILLE, B. DAWES, E. O. ESSIG, K.J. FRANKLIN, R. E. FRIES, J. F. FULTON, R. FURON, P. P. GRASSÉ, A. C. HADDON, T. S. HALL, R. J. HARVEY-GIBSON, A. HUGHES, W.A. LOCY, A.N. MEYER, F. MEYER, M. MOBIUS, W. E. MUEHLMANN, E. NORDENSKIÖLD, M. NOWIKOFF, H. F. OSBORN, P. OSTOYA, F. N. L. PAYNTER, H. S. REED, H. D. ROLLESTON, J. ROSTAND, K. E. ROTHSCHUH, E. S. RUSSELL, P. de SAINT-SEINE, G. G. SIMPSON, CH. SINGER, R. SOUÉGES, R. P. WODEHOUSE, C. A. WOOD, W. ZIMMERMANN, citate în volumul III (pag. 619—624), precum şi:

TH. WEEVERS, *Fifty Years of Plant Physiology*, Amsterdam, 1949.
L. DUUN (edit.), *Genetics in the 20-th Century*, New York, 1951.
T.K. PENNIMAN, *A Hundred Years of Anthropology*, Londra, 1952.
W.C. STEERE, *Fifty Years in Botany*, New York, 1959.
W.B. TURRILL, *Vistas in Botany*, Oxford, 1959.
G. PETIT şi J.THÉODORIDÈS, *Histoire de la Zoologie*, Paris, 1962.

MEDICINA

*** *Encyclopédie française*, vol. 6, 1936, cu aduceri la zi.

Lucrările lui E.H. ACKERKNECHT, A.H. BUCK, A. CASTIGLIONI, L. GLENDENING, P. DIEPGEN, R. DUMESNIL, F.H. GARRISON, O. GLASSER, H. GOCHT, D. GUTHRIE, W.E. HAYMAKER, J.B. HERRICK, TH.E. KEYS, E. KREMERS şi G. URDANG, M. LAIGNEL-LAVASTINE, P. LAIN-ENTRALGO, P. LECÈNE, R.A. LEONARDO, W.E.B. LHOYD, R.H. MAJOR, E. MAY, C.C. METTLER, L.T. MORTON, A. PAZZINI, W.A. PUSEY, G. ROSEN, R. SAND, R.H. SHRYOCK, H.E. SIGERIST, C.E. WINSLOW, citate în volumul III (pag. 623) precum şi R. BROCA, *Cinquante ans de conquêtes medicales*, Paris, 1955.
CH. SINGER şi E.A. UNDERWOOD, *A Short History of Medicine*, ed. a 2-a, Oxford, 1962 (bibliografie, pag. 761—795).

PARTEA
A ȘASEA

VIAȚA ȘTIINȚIFICĂ

La începutul secolului nostru, Europa occidentală deţinea superioritatea în toate domeniile cercetărilor ştiinţifice. Cîteva decenii au fost suficiente ca această situaţie să se modifice sensibil; anumite succese spectaculoase ale Statelor Unite ale Americii şi ale Uniunii Sovietice, în special în fizica nucleară şi în cercetarea spaţiului cosmic, par să indice că aceste două ţări, ale căror realizări ştiinţifice sînt în raport cu puterea lor economică şi militară, au luat un avans faţă de ţările vest-europene (în domeniul cercetării ştiinţifice). Pe lîngă acestea, schimbul internaţional de informaţii ştiinţifice, manifestat încă de la începutul secolui, s-a accelerat în mod evident. Ţări ca Japonia, India, China, Australia şi-au făcut o strălucită intrare în cercetarea ştiinţifică mondială şi fără îndoială că, în următorii ani, numeroase alte naţiuni îşi vor aduce contribuţia, mai mult sau mai puţin direct, la procesul general în evoluţia spre progres.

Trecînd rapid în revistă viaţa ştiinţifică din diferite ţări şi regiuni ale lumii, capitolele succesive ale acestei a şasea părţi vor permite o mai clară înţelegere a diverşilor factori care condiţionează evoluţia ştiinţifică a omenirii.

O primă problemă importantă o constituie aprecierea situaţiei reale a cercetării ştiinţifice în cadrul naţiunilor Europei occidentale. Dacă în mod obiectiv nici una din aceste naţiuni nu-şi propune să rivalizeze din punct de vedere ştiinţific cu Statele Unite ale Americii sau cu Uniunea Sovietică, eforturile de organizare întreprinse în diferite ţări au şi condus la efecte remarcabile şi cu siguranţă că vor antrena o accelerare a ritmului progresului. Stabilirea unei colaborări mai strînse între diversele departamente ale cercetării naţionale apare astăzi ca o necesitate absolută în unele domenii.

Statele Unite ale Americii şi Rusia, care la sfîrşitul secolului al XIX-lea nu deţineau decît un loc mai modest în cercetarea teoretică, au ajuns ţări de prim rang în ştiinţa modernă. Deşi ţări cu orînduiri social-politice şi economice diferite, ele au cunoscut, din punct de vedere ştiinţific, evoluţii paralele care par să decurgă în esenţă din legăturile tot mai strînse dintre cercetarea fundamentală, cercetarea aplicativă, progresul social şi puterea economică şi militară a statelor[1].

---

[1] Autorul pare să fie influenţat aici de teoria eronată a „convergenţei“ dezvoltării ţărilor socialiste şi capitaliste spre un tip standard de „societate industrială“, în care deosebirile esenţiale dintre structura societăţii socialiste şi cea a societăţii capitaliste ar dispărea. După cum se arată chiar în rîndurile următoare, realitatea socială — de care este legată dezvoltarea ştiinţei în diferite ţări — este mult mai complexă decît ar lăsa să se presupună formularea de mai sus şi, corespunzător, relaţiile de determinare sînt mult mai bogate. — *N.R.*

Ritmul mai scăzut al avîntului ştiinţific în America Latină şi în unele state ale Africii şi Asiei se explică şi prin problemele complexe pe care aceste ţări le au de rezolvat pe plan economic şi social.

În fine, compararea situaţiei actuale a ştiinţei în India, în Vietnam, în China şi în Japonia pune în lumină existenţa unor factori foarte diferiţi. În timp ce Japonia a atins un nivel ştiinţific foarte ridicat, India, care dispune de savanţi remarcabili, este totuşi frînată în acest avînt de nivelul ei economic mai scăzut, de o anumită insuficienţă a înzestrării ei tehnice şi de unele structuri tradiţionale. În China are loc un efort de masă care îi va permite să joace un rol ştiinţific important în cursul anilor următori.

Studiul nostru nu poate fi exhaustiv; el nu include anumite naţiuni dezvoltate, ca Australia, sau ţări în curs de dezvoltare, ca Indonezia sau Africa Neagră.

Concluzia esenţială ce se degajă dintr-un astfel de studiu este interdependenţa din ce în ce mai strînsă dintre progresul ştiinţific şi condiţiile economice şi sociale. Prin spiritul şi prin natura sa, ştiinţa trebuie să contribuie în mod eficace la progresul general al omenirii. Colaborarea sinceră care se stabileşte treptat între savanţii tuturor ţărilor se dovedeşte astfel unul din factorii importanţi în menţinerea păcii.

CAPITOLUL I
Viaţa ştiinţifică în Europa Occidentală

Înainte de a încerca să scoatem în evidenţă liniile directoare ale dezvoltării cercetării ştiinţifice în Europa Occidentală în cursul secolului al XX-lea, se impune o analiză preliminară a situaţiei din diferite ţări. Această rapidă trecere în revistă ne va arăta că condiţiile generale ale vieţii ştiinţifice, destul de diferite de la o ţară la alta la începutul secolului, tind să se egalizeze sub presiunea faptelor care determină fiecare naţiune să elaboreze şi să adopte o adevărată politică a ştiinţei.

GERMANIA. În volumul precedent (p. 635) am analizat principalele motive care explică excepţionalul avînt al ştiinţei în Germania în cursul secolului trecut. Aceleaşi cauze, ca eficacitatea organizării universitare descentralizate şi raţional înzestrate, afluxul de studenţi germani şi străini valoroşi, numărul şi valoarea publicaţiilor ştiinţifice de toate tipurile, abundenţa posturilor universitare şi particulare oferite cercetătorilor, sprijinul important acordat de industrie, prestigiul crescînd al limbii germane în lumea ştiinţifică şi puterea politică a Germaniei vor acţiona cu aceeaşi forţă pînă la primul război mondial. Institutele germane de cercetări vor continua să atragă elita cercetătorilor de toate naţionalităţile, dornici să-şi perfecţioneze cunoştinţele. Dacă anumite institute de cercetări din Occident vor reuşi să depăşească sau să egaleze în eficacitate şi în renume institutele germane de aceeaşi specialitate, în medie, ştiinţa germană deţine evidente priorităţi în special în domeniile în care teoria şi aplicaţiile industriale sînt în strînsă legătură: chimia organică, metalurgia, electricitatea etc.

Încă de la declanşarea primului război mondial, Germania a încredinţat cercetătorilor ei sarcina de a rezolva numeroasele probleme ştiinţifice şi tehnice ridicate de operaţiile militare; savanţi eminenţi, ca de exemplu Fritz Haber, au condus aceste cercetări.

În urma victoriei aliaţilor, ştiinţa în Germania s-a găsit într-o situaţie mai puţin favorabilă. Curînd însă, universităţile şi centrele de cercetări germane şi-au putut relua vechea lor activitate, atrăgînd din nou tinerii cercetători străini. Fiind concurate însă de anumite realizări occidentale, laboratoarele germane nu au mai reuşit să-şi restabilească situaţia dinaintea războiului, dar au cunoscut totuşi o nouă perioadă de strălucire. În special, ele au exercitat o influenţă excepțională în domeniul fizicii, datorită unor centre, ca cel de la Göttingen, cu remarcabilele sale institute de fizică conduse de profesori eminenți, ca James Franck și Max Born, sau cel de la Berlin, cu Institutul Kaiser Wilhelm, cel de la München, sau cel de la Leipzig etc.

Dar, în anul 1933, venirea la putere a lui Hitler a fost urmată de o restrîngere continuă a libertăților universitare tradiționale, în timp ce măsuri rasiale loveau sau amenințau o parte din personalul universitar. În numai cîteva luni, peste o treime din fizicienii cei mai remarcabili au părăsit țara, plecînd fie în alte țări din vestul continentului, fie în majoritatea cazurilor, în Statele Unite ale Americii. Această brutală opresiune a fost însoțită și de o scădere a numărului de studenți străini. Numeroase direcții de cercetare au fost interzise, iar realizările originale au scăzut rapid în anumite domenii. Cîțiva savanți, ca Lenard și Stark, au aprobat această politică și au salutat venirea la putere a noii „științe ariene". În cursul acestei perioade ca și în timpul celor cinci ani de război, în unele centre de cercetare din Germania s-au realizat totuși descoperiri importante, în special în domeniul rachetelor și al chimiei alimentare; colectivele de cercetare ale aliaților, mai bogate în savanți de valoare, au reușit însă, în majoritatea cazurilor, să le depășească.

La sfîrșitul celui de-al doilea război mondial, știința germană se găsea într-o situație catastrofală: majoritatea laboratoarelor distruse sau grav avariate, numeroși cercetători expatriați definitiv sau acaparați de centrele științifice ale națiunilor victorioase. Atribuirea Premiului Nobel pentru fizică pe anul 1961 lui R.L. Mössbauer, un tînăr savant de 32 ani, absolvent din 1955 al Institutului tehnic din München, dovedește însă o rapidă redresare.

După al doilea război mondial, structura organismelor științifice ale R.D.Germane a devenit asemănătoare celei a celorlalte state socialiste, rolul de conducere fiind acordat Academiei de Științe a R.D.G., pe cînd în R.F. Germania s-au făcut numeroase eforturi pentru a se reconstitui sau reanima instituțiile cele mai eficace din vechea organizare: Universitățile Max Planck Gesellschaft (care include și vechiul Institut Kaiser Wilhelm), Stifterverband (Asociația donatorilor), laboratoare ale industriei etc. În paralel au fost create organisme de centralizare și planificare și în special Deutsche Forschungsgemeinschaft (Asociația germană pentru cercetare), însărcinată cu coordonarea efortului de cercetare și cu rolul de consilier pe lîngă guvern și pe lîngă marile întreprinderi.

MAREA BRITANIE. Numeroasele rapoarte asupra învățămîntului și cercetării științifice, prezentate în Anglia în cursul secolului al XIX-lea, au insistat asupra superiorității evidente a Germaniei în acest domeniu și au deplîns lipsa de interes a cercurilor conducătoare britanice pentru problemele științifice. De fapt, dacă la sfîrșitul secolului al XIX-lea învățămîntul superior științific era mai puțin dezvoltat și mai puțin eficace în Anglia decît în Germania, ulterior s-a realizat o evidentă îmbunătățire datorită înființării de numeroase institute de învățămînt și de centre de cercetare dintre care unele, ca celebrul Cavendish Laboratory de la Cambridge, au atras numeroși cercetători străini de valoare. În cursul primilor ani ai secolului al XX-lea, această mișcare a continuat datorită dezvoltării unor organizații existente, ca Lister Institute, The

Wellcome Research Institution, staţiunea experimentală de la Rothamsted etc., precum şi înfiinţării de numeroase laboratoare afiliate pe lîngă universităţi sau pe lîngă ministerele tehnice.

Efortul început în cursul primului război mondial a accentuat această tendinţă, iar crearea unui Consiliu consultativ (1915) şi a unui Departament al cercetării ştiinţifice şi industriale (1916) reprezintă o etapă importantă spre o coordonare a eforturilor de cercetare. Dorinţa de a concura firmele industriale germane a impus după război marilor industrii britanice participarea la dezvoltarea cercetării aplicative. Importanţa rolului jucat de savanţii şi specialiştii britanici în cel de al doilea război mondial în domenii foarte diferite, ca punerea la punct a radarului şi a bombei nucleare sau utilizarea terapeutică a penicilinei, a confirmat eficacitatea unei politici a ştiinţei, elaborată cu grijă şi susţinută cu credite importante. La ora actuală, dintre ţările Europei Occidentale, Marea Britanie consacră în acest scop cel mai mare procent din bugetul său naţional şi este înzestrată cu organismele de coordonare cele mai diferenţiate şi cele mai eficace. Rezultatele obţinute în majoritatea sectoarelor cercetării fundamentale şi aplicative sînt dealtminteri pe măsura acestui efort, la care se adaugă şi o importantă dezvoltare a învăţămîntului ştiinţific.

FRANŢA. La începutul secolului al XX-lea, ştiinţa franceză a cunoscut o redresare evidentă, datorită în special numeroşilor ei matematicieni şi fizicieni de talent şi înfiinţării unei noi instituţii de cercetare biologică şi medicală, Institutul Pasteur. Totuşi, dezvoltarea sa a continuat să fie frînată de anumite obstacole, ca centralizarea excesivă a structurilor sale şi insuficienţa ajutorului material acordat cercetării.

Războiul din 1914, evidenţiind într-un mod brutal superioritatea înzestrării ştiinţifice şi tehnice germane, a obligat cercurile conducătoare să se intereseze mai activ de organizarea cercetării. Unele dintre organismele create cu această ocazie au fost menţinute sub o nouă formă şi după armistiţiu. Totuşi, abia în 1936 a fost întreprins un efort de mare anvergură de către un guvern de front popular. A fost creat un Subsecretariat de stat al cercetării ştiinţifice. Sub conducerea lui J. Perrin şi Irène Joliot-Curie au fost elaborate structuri noi, iar în 1938 a fost fundat un Centru Naţional al Cercetării Ştiinţifice.

Dar cel de-al doilea război mondial şi anii de ocupaţie au oprit acest efort care nu a fost reluat decît în anul 1944, odată cu reorganizarea Centrului Naţional al Cercetării Ştiinţifice şi cu elaborarea unui vast plan de înzestrare. De atunci, progresele au fost constante, datorită creării unor noi organisme, cum este Comisariatul de Energie Atomică (1948), modernizării şi extinderii unor instituţii vechi, creşterii ajutorului financiar dat de stat şi unei politici, din ce în ce mai pronunţată, de descentralizare. Acest efort a fost accelerat odată cu crearea Delegaţiei generale de cercetare ştiinţifică şi tehnică în 1958. Acest organism are drept obiective stabilirea bilanţului continuu al potenţialului ştiinţific naţional, urmărirea permanentă a evoluţiei factorilor care condiţionează progresul, coordonarea activităţii diferitelor institute de cercetare, acordarea de ajutoare financiare mărite şi, în sfîrşit, selecţionarea şi iniţierea unei serii de acţiuni coordonate de cercetare.

Deşi insuficient, acest vast efort a transformat profund structura cercetării în Franţa şi a permis depăşirea unora din obstacolele care îi frînau dezvoltarea. Printre principalele slăbiciuni care au mai rămas trebuie subliniate progresul prea lent al anumitor sectoare ale cercetării industriale şi procentul redus al ajutorului financiar particular acordat cercetării fundamentale.

OLANDA, BELGIA şi ELVEŢIA. În ciuda numărului lor relativ scăzut, savanţii olandezi au reuşit la sfîrşitul secolului al XIX-lea să realizeze lucrări profund originale în domenii foarte diferite ale ştiinţei. De atunci, producţia ştiinţifică a Olandei s-a menţinut la un nivel foarte ridicat, ţinînd seama de dimensiunile reduse ale ţării. Aceste rezultate se datoresc calităţii învăţămîntului superior şi sprijinului permanent dat cercetării de către firmele industriale olandeze. Dealtminteri, două comitete oficiale, T.N.O., creat în 1932, şi Z.W.O., creat în 1950, au drept misiune coordonarea ansamblului de cercetări aplicative şi a diferitelor sectoare ale cercetării fundamentale. Rezultatele obţinute recent de ştiinţa olandeză în variate domenii, ca radioastronomia, automatica şi fiziologia vegetală, dovedesc trăinicia tradiţiilor sale de calitate.

Avîntul ştiinţific al Belgiei a apărut mai tîrziu, fiind mai puţin diversificat. Secolul al XX-lea a fost totuşi martorul înfiinţării a numeroase laboratoare de stat şi particulare. Fondul naţional al cercetării ştiinţifice belgiene, instituit în 1928, Institutul pentru încurajarea cercetării ştiinţifice în industrie şi agricultură (1944) şi mai multe organisme de coordonare create în 1959 permit susţinerea şi coordonarea eforturilor de cercetare. Dezvoltarea institutelor Solvay a contribuit de asemenea la îmbunătăţirea înzestrării ştiinţifice a ţării. Din 1911, celebrele congrese Solvay de fizică reunesc la Bruxelles fizicienii cei mai eminenţi din lumea întreagă. Prin discuţiile fecunde pe care le-au suscitat, aceste congrese au avut o influenţă profundă asupra evoluţiei fizicii moderne.

Ca şi Olanda, Elveţia a avut privilegiul de a avea în secolul al XX-lea un număr considerabil de savanţi de valoare. Principalul motiv care explică acest fapt îl constituie înaltul nivel al învăţămîntului universitar, favorizat de o situaţie geografică excepţională, — Elveţia fiind situată la confluenţa zonelor de cultură germană, franceză şi italiană — nivel dovedit şi de renumele unora dintre universităţi sau institute, ca Şcoala politehnică federală din Zürich. Trebuie însă să se ţină seama şi de alţi factori, ca sprijinul constant acordat cercetării de către o industrie puternică, tradiţia de libertate care a făcut din Elveţia un loc de refugiu preferat de numeroşi exilaţi politici şi neutralitatea ţării care i-a îngăduit să stea deoparte în timpul celor două mari războaie mondiale. Un efort de adaptare pare totuşi necesar pentru a supune anumite cerinţe administrative noilor exigenţe ale cercetării ştiinţifice şi tehnice.

EUROPA MEDITERANEANĂ. La începutul secolului nostru, Italia avea numeroase şcoli cu activitate ştiinţifică deosebită, orientată spre diverse ramuri ale cercetării. Analiza funcţională, geometria algebrică, mecanica teoretică şi radiotehnica, geodezia, seismologia şi vulcanologia, astronomia solară, neurofiziologia şi studiul bolilor parazitare sînt numai cîteva din domeniile în care ştiinţa italiană a izbutit să se impună de atunci încoace prin realizări originale. Dealtminteri, au fost inițiate în paralel noi direcții de cercetare remarcabile, ca de exemplu fizica nucleară, domeniu în care au fost obținute rezultate deosebit de importante după 1934 de către școala lui Enrico Fermi de la Roma (vezi pp. 344—345). Această activitate nu s-a desfășurat totuși continuu. De fapt, Italia a suferit din greu de pe urma celor două războaie mondiale. Pe lîngă aceasta, ea a cunoscut și o lungă perioadă de regim fascist care, deși a favorizat anumite ramuri ale cercetării științifice și tehnice (legate de industria de război), a îngrădit treptat libertatea intelectuală a cercetătorilor și i-a obligat pe unii să se expatrieze. Din această cauză, activitatea remarcabilei școli italiene de fizică nucleară a scăzut brusc după emigrarea succesivă a lui E. Segré, B. Pontecorvo și E. Fermi. După cel de al doilea război mondial, cercetările au fost reluate destul de rapid, au fost înființate numeroase laboratoare noi, în timp ce instituțiile vechi au fost reconstituite sau extinse. Dar abia în cursul ultimilor ani s-au depus eforturi deosebite pentru a remodela structurile cercetării științifice al căror ansamblu părea prea complex și insuficient de centralizat.

Creat în 1923, *Conzinglio Nazionale delle Ricerche* este principalul organism al cercetării fundamentale. Intervenind direct în crearea și conducerea numeroaselor laboratoare, acest consiliu urmărește o coordonare de ansamblu a diverselor ramuri ale cercetării fundamentale și aplicative. Centrele și institutele de cercetări, asociate universităților, păstrează totuși o anumită independență, în special cînd reușesc să obțină ajutorul direct al industriei. Un comitet național pentru cercetări nucleare și numeroase institute de cercetări afiliate unor ministere tehnice, în special deosebit de activul *Istituto Superiore di Sanita*, joacă de asemenea un rol esențial în diferite sectoare. Dar una din particularitățile cele mai originale ale cercetării științifice în Italia — cel puțin în raport cu celelalte țări ale Europei occidentale — o constituie amploarea cercetării industriale și strînsa colaborare dintre universitate și industrie.

Unul din exemplele cele mai evidente referitoare la fecunditatea unei astfel de colaborări îl constituie înființarea recentă a unei noi ramuri a chimiei macromoleculare, studiul polimerilor tactici (izotactici și sindiotactici) și atactici, în urma cercetărilor efectuate după 1955 de G. Natta și colaboratorii săi de la Școala politehnică din Milano, și cu concursul financiar al unei importante firme industriale. Pe lîngă marele lor interes teoretic, aceste cercetări, încă în plină dezvoltare, au permis deja obținerea a numeroase substanțe plastice și textile sintetice noi.

Iugoslavia, care a cunoscut un avînt științific destul de pronunțat între cele două războaie mondiale, a suferit în mod tragic în cel de-al doilea război mondial. Astăzi însă, ea urmează o politică activă de dezvoltare științifică și tehnică.

În ciuda unor eforturi evidente, dar insuficient coordonate, Grecia nu a putut încă să-și adapteze ansamblul înzestrării sale științifice la exigențele științei contemporane.

Spania și Portugalia se găsesc și ele într-o poziție mai puțin favorabilă decît națiunile vecine, în ciuda unor succese de netăgăduit, obținute în special în medicină și fiziologie. Cu toate acestea, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, din Madrid, a întreprins coordonarea dezvoltării științifice ale cărei rezultate încep să dea roade.

ȚĂRILE SCANDINAVE. Ca și la sfîrșitul secolului trecut, țările scandinave continuă să-și păstreze un loc foarte onorabil pe calea progresului științific. Dezvoltarea instituțiilor de învățămînt superior și a organismelor de cercetare este rezultatul atît al unui efort continuu al cercurilor conducătoare, cît și al unei prețioase colaborări între firmele industriale și unele organisme particulare, ca Fundația Carlsberg și Fundația Nobel. Dealtminteri, prestigiul anumitor savanți, ca N. Bohr, H. von Euler și A. Tiselius, a atras numeroși cercetători străini la efectuarea studiilor în institutele de cercetare de sub conducerea lor. Iar faptul că premiile Nobel pentru fizică și pentru chimie sînt decernate sub responsabilitatea Academiei Regale de Științe a Suediei, iar Premiul Nobel pentru medicină și fiziologie de către Institutul medico-chirurgical Carolina din Stockholm a contribuit, desigur, la creșterea prestigiului cercetării științifice din țările nordice.

EUROPA CENTRALĂ. Pînă în 1919, majoritatea țărilor din Europa Centrală se găseau într-o situație politică puțin favorabilă unei vieți științifice active, iar cea mai mare parte a savanților lor de valoare au cunoscut o puternică influență a țărilor de limbă germană, ori s-au expatriat. După armistițiu, contactele mai strînse ce s-au stabilit cu cercurile științifice din Occident au permis dezvoltarea învățămîntului superior și a activităților de cercetare[1]. Evoluția majorității acestor țări spre regimuri autoritare a frînat totuși activitatea de cercetare. Doar Cehoslovacia, rămasă pînă în 1938 cu un regim ceva mai democrat, a reușit să se alinieze practic alături de țările mai dezvoltate. Cel de-al doilea război mondial a întrerupt însă brutal aceste eforturi care au fost apoi reluate pe baze diferite. După eliberare, statele socialiste din răsăritul Europei și-au reorganizat învățămîntul și instituțiile lor de cercetare. Austria a încercat să-și adapteze la necesitățile și posibilitățile sale metodele de organizare puse la punct în Occident.

◆

Focar al științei moderne, Europa Occidentală, care la începutul secolului nostru se mai găsea încă în culmea progresului științific, pare să fie depășită astăzi de posibilitățile anumitor laboratoare americane sau sovietice.

Fără îndoială că pierderile de vieți omenești și distrugerile economice și sociale provocate de cele două războaie îndelungate au încetinit și compromis drumul spre progres. La această situație a contribuit incontestabil și faptul că numeroși savanți de mare valoare s-au expatriat din diverse motive în Statele Unite ale Americii, micșorînd astfel considerabil potențialul științific european. Este de netăgăduit și faptul că dezvoltarea cercetării științifice moderne necesită în anumite domenii mijloace materiale şi financiare pe care numai marile state le pot furniza.

---

[1] Vom menționa în special remarcabilele școli matematice ce s-au dezvoltat în România și în Polonia. În ceea ce privește Ungaria, se poate afirma că ea a dat lumii un număr mare de savanți eminenți. Vom menționa în această direcție doar numele matematicienilor F. Riesz și J. von Neumann, al fizicienilor L. Szilard și E. Teller, al biochimiștilor L. Zechmeister și A. Szent-Györgyi și al chimistului G. von Hevesy.

Cu toate acestea, situaţia de ansamblu a Europei pe plan ştiinţific este mai puţin sumbră decît pare a sugera supremaţia actuală a S.U.A. şi a U.R.S.S. în domeniul fizicii nucleare şi în cel al cercetării spaţiului cosmic. În realitate, savanţii europeni joacă un rol determinant în dezvoltarea a numeroase domenii ştiinţifice. Pe lîngă aceasta, majoritatea ţărilor occidentale au elaborat o politică ştiinţifică ale cărei rezultate fecunde vor apărea în scurtă vreme. În sfîrşit, realizarea de colaborări la scară intereuropeană, ca C.E.R.N., I.U.C.N., EURATOM, sau Organizaţia europeană a cercetărilor spaţiale, va permite naţiunilor europene să rivalizeze în viitorul apropiat cu cei doi uriaşi ai cercetării ştiinţifice contemporane.

BIBLIOGRAFIE

P. AUGER, *Tendances actuelles de la recherche scientifique*, U.N.E.S.C.O., 1961.
****Angewandte Forschung in der Bundesrepublik Deutschland*, Wiesbaden, 1958.
D. S.-L. CARDWELL, *The Organisation of Science in England*, Londra, 1957.
****L'organisation du progrès scientifique en Grande-Bretagne*, Londra, 1961.
P. PIGANIOL, L. VILLECOURT, *Pour une politique scientifique*, Paris, 1963.
A. J. BARNOW, B. LANDHEER, ed., *The Contribution of Holland to the Sciences*, New York, 1933.
E. FUETER, *Grosse Schweizer Forscher*, Zürich, 1934.
L. SILLA, ed., *Un secolo di progresso scientifico italiano*, 7 vol. Roma, 1939—1940.
****Il Consiglio Nazionale delle Ricerche*, Roma, 1954.
S. LINDROTH, *Swedish men of science*, Stockholm, 1958.
W. MEISEN, *Prominents Danish scientists*, Copenhaga, 1939.
****Nobel. The Man and his Prizes*, Amsterdam, 1962.

CAPITOLUL II

Viaţa ştiinţifică în U.R.S.S. (1917-1961)

În volumul precedent (p. 643) am schiţat condiţiile sociale ale dezvoltării ştiinţei în Rusia înainte de primul război mondial. O schimbare radicală a avut loc în 1917 după Marea Revoluţie Socialistă din Octombrie. Noile condiţii au favorizat dezvoltarea ştiinţei care a progresat odată cu dezvoltarea economică şi culturală a ţării. Marile direcţii ale economiei naţionale de după 1917 au fost formulate de V.I.Lenin în lucrarea sa, *Schiţă a planului de cercetări ştiinţifico-tehnice* (1918). Înainte de toate era necesară planificarea unei repartiţii raţionale a industriei şi forţelor de producţie pe teritoriul ţării şi crearea condiţiilor care să asigure autonomia ei în aprovizionarea cu materii prime de bază. O atenţie specială a fost acordată electrificării industriei, transportului şi agriculturii, precum şi utilizării energiei hidraulice şi a motoarelor eoliene. Planul de electrificare a ţării, adoptat în 1920, trebuia să fie realizat în 10—15 ani; dar pînă în 1955 el a fost depăşit de 2,5 ori.

Încă de prin anul 1930, ţara era înzestrată cu propria sa industrie aeronautică şi automobilistică; au fost puse la punct producţia de motoare electrice, de staţii T.F.F., de sticlă optică. A luat naştere o industrie chimică modernă. Aceste realizări industriale au creat condiţiile necesare dezvoltării ştiinţei experimentale. Caracterul planificat al economiei sovietice socialiste a permis realizarea la o scară mare a standardizării producţiei de aparate şi de instrumente ştiinţifice şi atingerea unui înalt grad de perfecţionare, în special în cursul ultimilor 10 ani, ca urmare a progreselor automatizării şi mecanizării.

Dezvoltarea rapidă a laboratoarelor uzinale reprezintă trăsătura caracteristică a legăturii strînse dintre ştiinţă şi producţie. Multe întreprinderi industriale, care şi-au creat un întreg sistem de cursuri şi şcoli, s-au transformat în combinate de învăţămînt, sau în uzine-universităţi. Reţeaua deasă a instituţiilor specializate şi larga activitate de cercetare întreprinsă de principalele instituţii de învăţămînt, de institute ştiinţifice şi direct în uzine nu pot fi comparate cu înzestrarea ştiinţifică neînsemnată a Rusiei ţariste.

Încă din primii ani, puterea sovietică a înfiinţat institute de cercetare, adică forme de organizare pe care vechea Rusie nu le cunoştea.

În 1918 au fost puse bazele Institutului de fizică şi ale Institutului central de aerohidrodinamică la Moscova, Institutului fizicotehnic şi Institutului de optică de la Leningrad. Primul director al Institutului de fizică din Moscova a fost Nicolai Jukovski, denumit de Lenin „părintele aviaţiei ruse"; i-a urmat ilustrul său discipol, S. Ciaplîghin. Între 1918 şi 1920 a fost organizat Laboratorul chimic central al Consiliului Superior al Economiei Naţionale, care a devenit astăzi un mare institut fizico-chimic. În 1921, din iniţiativa academicianului V. A. Steklov, un distins matematician, a fost înfiinţat, la Leningrad, Institutul fizico-matematic al Academiei de Ştiinţe. Mai tîrziu, acesta a fost împărţit în trei mari institute independente, dintre care unul poartă numele fondatorului său.

Învăţămîntul a fost democratizat pe o scară largă. Învăţămîntul superior a devenit accesibil tuturor claselor societăţii. Pentru a accelera formarea noii intelectualităţi au fost organizate „facultăţi muncitoreşti", şcoli pregătitoare pentru muncitorii şi ţăranii care nu au frecventat cursurile secundare. Aceste şcoli au devenit inutile după 1930 datorită răspîndirii din ce în ce mai mari a învăţămîntului secundar. Numărul de instituţii de învăţămînt superior a crescut de la 105 în 1914—1919 la 739 în 1960 — 1961, iar numărul de studenţi a crescut de la 127 000 la 2 396 000.

În toate republicile Uniunii Sovietice au fost înfiinţate universităţi în care învăţămîntul este predat în limba maternă a populaţiei, deşi de exemplu în Kazahstan, Uzbekistan, Kirghizia, Tadjikistan şi în Turkmenia nu existaseră, înainte de Revoluţie, nici şcoli superioare şi nici şcoli tehnice. În 1960—1961, 229 000 de studenţi frecventează aceste şcoli superioare şi 181 000 şcolile speciale, adică 88 şi respectiv 70 de studenţi la fiecare 10 000 de locuitori în medie. R. S. S. Gruzină, care înainte de Revoluţie nu avea universitate, are astăzi 18 şcoli superioare şi 179 de institute de cercetări ştiinţifice.

Repartizarea institutelor de cercetări şi a cadrelor ştiinţifice a fost considerabil modificată. Numeroase institute şi filiale, staţiuni şi laboratoare industriale şi rurale au fost organizate în regiunile miniere, în noile centre industriale şi în regiunile agricole.

Astfel, în 1918 a fost creat un laborator de radio-tehnică la Nijnîi-Novgorod (Gorki), unde, în 1922, a avut loc primul Congres de radiotehnică. În timp ce, înainte de 1917, acest oraş nu avea nici universitate şi nici centre de cercetări, astăzi posedă o universitate, un număr mare de şcoli superioare (politehnică, medicală, pedagogică etc.), institute de cercetări, laboratoare etc. Micul cătun Kozlov (astăzi Miciurinsk) din regiunea Tambov s-a transformat într-un important centru de selecţionare şi aclimatizare a arbuştilor şi a arborilor fructiferi.

Au fost create baze ştiinţifice în regiunile cele mai nordice. Pînă în 1932, majoritatea institutelor Academiei de Ştiinţe a U.R.S.S. se găseau la Moscova şi Leningrad. Din acest an, Academia a început să organizeze filiale în diferite regiuni ale ţării (Extremul Orient, regiunea Munţilor Urali etc.).

Din această cauză, expediţiile ştiinţifice au căpătat un nou caracter. În timp ce înainte era vorba de călătorii sporadice întreprinse de savanţii din capitală sau din alte centre universitare spre „provinciile" îndepărtate, astăzi, se caută stabilirea unei colaborări statornice între cercetătorii de cele mai diverse specialităţi, care locuiesc în cele mai diferite regiuni ale ţării.

Rezervaţiile naturale protejate, dintre care primele: Rezervaţia de stat Astrahan şi cea de la Ilmeni în Ural au fost declarate în 1919, au devenit centre active de cercetări biologice.

Posibilitățile efectuării de observații astronomice s-au îmbogățit considerabil datorită construirii unor noi observatoare, înzestrate cu instrumente de calitate și repartizate în diferite republici unionale și în special în regiunile cele mai favorabile din punct de vedere climatic și meteorologic: Crimeea, Armenia, Gruzia, Kazahstan etc. Rețeaua meteorologică a fost de asemenea extinsă prin înființarea a numeroase stațiuni pînă în regiurile cele mai îndepărtate ale țării.

Academia de științe a U.R.S.S. a devenit principalul centru științific al Uniunii Sovietice, mai ales după transferarea sa de la Leningrad la Moscova (1934). Majoritatea marilor societăți științifice care existau dinainte (de geografie, fizico-chimie, astronomie), ca și un mare număr de institute noi au fost anexate Academiei.

Un anumit număr de academii ale republicilor unionale au fost transformate în filiale ale Academiei de Științe a U.R.S.S. Astfel de academii de științe există acum în R.S.S. Ukraineană (1919), în R.S.S. Bielorusă (1929), în R.S.S. Lituană (1914), în R.S.S. Gruzină (1914), în R.S. Armeană (1941), în R.S.S. Uzbekă (1946), în R.S.S. Kazahă (1946), în R.S.S. Tadjikă (1951), în R.S.S. Turkmenă (1951), în R.S.S. Kirghiză (1954) și în R.S.S. Moldovenească (1961).

Înființarea în 1958 a secției siberiene a Academiei de Științe la Novosibirsk a constituit un eveniment important. Secția, care cuprinde 40 de institute științifice la Novosibirsk, Irkuțk etc., se găsește în contact permanent cu Universitatea din Novosibirsk, recent înființată.

Acest nou și important centru științific din răsăritul Uniunii Sovietice, condus de academicianul M. A. Lavrentiev, un eminent specialist în domeniul matematicii pure și aplicate, a abordat deja un vast program de cercetări. Astfel, secția de științe fizico-matematice, care numără printre colaboratorii săi numeroși savanți de mîna întîi, și-a înscris în planul său de activitate peste 60 de probleme.

Academia de Științe a Uniunii Sovietice conduce cercetările cele mai importante din domeniul științelor naturii și sociale, în legătură cu alte instituții științifice: cu academiile republicilor unionale, cu academiile specializate de științe agricole (create în 1929), de științe medicale (1944), de științe pedagogice (1943), precum și cu numeroasele institute și școli superioare dependente de ministere. În 1961 a fost creat un comitet special pe lîngă Consiliul de Miniștri al U.R.S.S. pentru a coordona cercetările tuturor acestor instituții.

În Uniunea Sovietică existau în 1962 aproape 4200 de instituții științifice (din care 1830 institute de cercetări) și peste 400 000 de specialiști, în timp ce vechea Rusie nu avea mai mult de 10 000 de specialiști.

O astfel de creștere numerică nu s-a putut realiza decît datorită dezvoltării și reformei învățămîntului superior. În același timp cu înființarea noilor universități, au fost reorganizate complet și vechile centre. Astfel, între 1949 și 1953, cea mai veche universitate rusă, cea din Moscova, a fost completată cu noi edificii, care cuprind 148 săli de studii și peste 1000 de laboratoare științifice, prevăzute cu aparatură ultramodernă (electronică, instrumente speciale de optică, instalații de radiații X, camere pentru studiul reflexelor condiționate și al proceselor metabolice etc.).

În cadrul şcolilor superioare şi al institutelor de cercetări au fost prevăzute posturi speciale pentru studenţii care, terminîndu-şi studiile, pot continua, timp de trei ani, specializarea într-un domeniu dat, pregătindu-şi o teză de „candidat în ştiinţe“, gradul superior fiind cel de doctor. În 1961 existau 11 300 de doctori şi 102 500 de candidaţi, dintre care un mare număr de femei, în timp ce în perioada ţaristă numărul acestora era foarte mic.

Nu poate fi trecut sub tăcere rolul important pe care îl joacă în viaţa ştiinţifică marele Institut de documentare ştiinţifică şi tehnică înfiinţat în 1952, în cadrul Academiei de Ştiinţe. Publicaţiile sale lunare înregistrează şi analizează numeroasele articole ştiinţifice, publicate în U.R.S.S. şi în străinătate.

Dezvoltarea numerică şi teritorială a instituţiilor ştiinţifice a permis realizarea unor culegeri monografice consacrate descrierii bogăţiilor naturale ale U.R.S.S.: flora (începînd din 1934), fauna (începînd din 1935), geologia etc. În timp ce în 1917 măsurătorile geologice (relevee) nu erau realizate decît pe 10,25% din teritoriul naţional, în 1945 acest procentaj a ajuns la 72,8%.

Un gigantic efort a fost depus pentru studiul şi punerea în valoare a Arcticii. Principalele măsuri în această direcţie au constat în înfiinţarea unui Institut Arctic (1925), organizarea staţiunii polare celei mai nordice din lume în insula Rudolph (1933), exploatarea Căii maritime a Nordului (1932—1935), deriva staţiunii polare „Polul Nord“ pe o banchiză (1937—1938), deriva spărgătorului de gheaţă „Sedov“ din Marea Laptev spre Marea Groenlandei (1937—1940), cercetările staţiunilor ştiinţifice „Polul Nord-3“ şi „Polul Nord-4“, după 1954.

În aceeaşi ordine de idei trebuie menţionate şi cercetările realizate în cursul ultimilor ani în Antarctica, în cadrul lucrărilor Anului Geofizic Internaţional.

Toate aceste cuceriri tehnice, efectuate pe o largă bază teoretică, au îmbogăţit ştiinţa cu noi şi importante descoperiri şi au contribuit la formarea şi dezvoltarea unor noi ramuri ale matematicii, mecanicii, fizicii şi chimiei. Drept exemplu poate fi citată şcoala aerohidrodinamică a lui Jukovski şi Ciaplîghin, care a rezolvat un mare număr de probleme teoretice importante, contribuind în acelaşi timp într-un mod foarte eficace la progresele aviaţiei.

Printre reprezentanţii acestei şcoli, vom cita pe M.V. Keldîş şi pe S.A. Kristianovici. Cercetările lui S.L. Mandelstamm, N.D. Papaleksi şi A.A. Andronov în domeniul vibraţiilor neliniare au condus la importante inovaţii în radiotehnică. Cercetările fundamentale ale lui A.F. Ioffe, consacrate semiconductorilor, au găsit numeroase aplicaţii tehnice. Nu trebuie uitat că toate aceste nume reprezintă colective întregi şi şcoli de cercetători dedicate aceloraşi probleme.

De asemenea, paralel cu rezolvarea celor mai mari probleme de importanţă practică, savanţii sovietici au obţinut succese considerabile în domeniile cele mai diferite ale ştiinţelor teoretice. Pe lîngă importantele lucrări ale matematicienilor, pot fi citate cele ale astronomilor în domeniul cosmologiei şi cosmogoniei şi cele ale fizicienilor în studiul problemelor fundamentale ale teoriei relativităţii şi ale mecanicii cuantice.

În domeniul ştiinţelor biologice, pe lîngă experienţele pe scară largă de aclimatizare şi de introducere a unor noi culturi, de creştere a randamentului agricol și de creare a noi soiuri de plante și de animale, savanții au abordat și studiul problemelor originii vieții, eredității, formării speciilor etc.

În ansamblu, dezvoltarea științei în Uniunea Sovietică în ultimii 45 ani se caracterizează, spre deosebire de perioada precedentă, prin studiul pe scară largă a tuturor problemelor științifice moderne și prin creșterea foarte rapidă a numărului de cercetători. Dacă în trecut marile descoperiri s-au datorat adesea unor savanți izolați (este suficient să amintim exemplul lui Lobacevski) sau unor grupuri mici de savanți, astăzi în aproape toate ramurile științei există școli active și orientări care dovedesc existența unor solide tradiții științifice.

Vom menționa ca exemplu în matematică marile școli de teoria funcțiilor (N.N. Luzin), de topologie (P.S. Alexandrov, L.S. Pontriaghin), de teoria constructivă a funcțiilor (S.N. Bernstein), de teoria numerelor (I.M. Vinogradov), de teoria probabilităților (A.N. Kolmogorov), de teoria ecuațiilor diferențiale (I.G. Petrovski și S.L. Sobolev), de analiză funcțională (J.M. Ghelfand), de logică matematică (P.S. Novikov, A.A. Markov-fiul). Amploarea cercetărilor matematice poate fi ilustrată prin două cifre: statistica (incompletă) a articolelor publicate între 1917 și 1957 cuprinde 22 000 de lucrări care provin de la 3 600 de autori.

În fizica teoretică, este de ajuns să numim școlile care se ocupă cu punerea la punct a teoriilor din fizica nucleară (I.E. Tamm), a teoriei particulelor elementare (L.D. Landau), a fizicii statistice (N.N. Bogoliubov), a teoriei cuantice a cîmpului (V.A. Fok). În fizica experimentală, școlile lui P.L. Kapița (fenomene la temperaturi foarte joase), I.V. Kurceatov (fizică nucleară) și S.I. Vavilov (studiul luminescenței) sînt celebre.

În chimie se remarcă școlile lui N.D. Zelinski și A.A. Nesmeianov (chimie organică), N.S. Kurnakov (analiză fizico-chimică), N.N. Semenov (cinetică chimică).

În domeniul științelor biologice, școala lui I.P. Pavlov și „orientarea miciurinistă“ se bucură de un mare renume.

Numeroase școli au apărut și în republicile unionale. Vom cita ca exemplu școlile fiziopatologului A.A. Bogomoleț, biochimistului A.V. Palladin, oftalmologului V.P. Filatov în R.S.S. Ucraineană, V.A. Ambarțumian (astronomie stelară) în R.S.S. Armeană și N.I. Muskelișvili (teoria elasticității, ecuații integrale) în R.S.S. Gruzină.

Al doilea război mondial a dat o grea lovitură dezvoltării științei. Dar la puțin timp după sfîrșitul războiului, pe lîngă restabilirea a numeroase instituții științifice, au fost create noi institute și academii. Cercetări recente au abordat cu succes problemele puse în unele ramuri noi, ca cibernetica, construirea calculatoarelor electronice și fuziunea controlată.

Printre cele mai importante realizări ale științei sovietice din ultimul timp trebuie citat controlul energiei nucleare. Prima centrală industrială funcționînd pe bază de energie nucleară a intrat în funcțiune la Obninsk în 1954. În decembrie 1959, primul spărgător de gheață cu energie nucleară, „V.I. Lenin“, a fost lansat la Leningrad.

O altă dovadă remarcabilă a dezvoltării științei în U.R.S.S. o constituie lansarea sateliților artificiali și a rachetelor cosmice, precum și cercetările efectuate cu această ocazie. Primul satelit, de 83,6 kg, a fost lansat la 4 octombrie 1957. După puțin timp (în noiembrie, același an) a fost plasat pe orbită un al doilea satelit, de 508,3 kg; acesta transporta o ființă vie, cățelușa Laika și era echipat cu aparatură mai perfecționată. Al treilea satelit a fost lansat la 15 mai 1958. La 2 ianuarie 1959 a fost lansată prima rachetă cosmică care a devenit și primul satelit artificial al Soarelui. Cea de-a doua rachetă lansată la 12 septembrie 1959 a atins suprafața Lunii. Datorită plasării pe orbită a celei de-a treia rachete înzestrate cu o stație interplanetară automată s-a reușit pentru prima dată, la 4 octombrie 1959, fotografierea părții invizibile a Lunii. Pentru această realizare a fost necesar să se imprime ultimei rachete o viteză de circa 11 000 m/s, cu o precizie de 5 m/s, și să se stabilească direcția inițială cu o precizie de cîteva minute de arc. La 12 februarie 1961 a fost lansată spre Venus o stație interplanetară automată. O serie de experiențe sistematice cu nave cosmice sateliți (începută la 15 mai 1960) a fost încoronată de succes prin prima călătorie cosmică în jurul Pămîntului, efectuată de Iuri Gagarin la 12 aprilie 1961. Această călătorie a fost urmată de cea a lui G. Titov care la 6—7 august 1961 a efectuat peste 17 rotații în jurul Pămîntului în 25 ore. Între 11 și 15 august 1962, A. Nikolaev și P. Popovici au realizat un zbor dublu în spațiul cosmic, efectuînd peste 64 de rotații în jurul Pămîntului în 95 de ore în cazul primului și 48 de rotații în 71 de ore în cazul celui de-al doilea. Toate aceste succese ale științei și tehnicii socialiste sînt rezultatele efortului colectiv al savanților, inginerilor și muncitorilor din specialitățile cele mai diferite, conduși de guvernul sovietic.

BIBLIOGRAFIE

Toată literatura referitoare la acest capitol este în limba rusă. Vom cita titlurile celor mai importante lucrări în transcriere latină:

*** *Bolșaia Sovietskaia Enţiklopedia* (Marea Enciclopedie Sovietică), vol. 50, U.R.S.S., ed. a II-a, 1957, XV.

*** *Nauka i naucinîe uciregdenia* (Știința și Instituțiile științifice), pp. 430—507; bibliografie, pp. 507—510.

*** *Liudi Russkoi Nauki* (Marii savanți ruși); Matematika, Mekanika, Astronomia, Fizika, Moskva, 1961.

*** *Gheologia, Gheografia*, Moskva, 1962.

*** *Matematika v SSSR za sorok let* (Matematica în U.R.S.S. în ultimii 40 ani), vol. I. și II, Moskva, 1959.

CAPITOLUL III

Ştiinţa în Statele Unite ale Americii în secolul al XX-lea

Ceea ce caracterizează în mod deosebit ştiinţa americană în cursul secolului al XX-lea este amploarea avîntului ei, vitalitatea şi nivelul ei calitativ. Dacă astăzi este banal de a considera Statele Unite ale Americii ca una din naţiunile care participă în modul cel mai activ la dezvoltarea ştiinţelor fundamentale, acest fapt nu putea fi deloc prevăzut acum un secol.

> Joseph Henry, unul din rarii savanţi americani remarcabili din secolul trecut, avea motive întemeiate să regrete faptul că în S.U.A. „deşi sînt mulţi cei care excelează în folosirea ştiinţei în activităţile practice, puţini sînt cercetătorii care se consacră activităţii continue şi unui efort răbdător de gîndire indispensabile pentru descoperirea şi utilizarea de noi adevăruri".

Schimbarea calitativă şi cantitativă care a intervenit în ştiinţa americană este dovedită de diferiţi factori.

Numărul persoanelor implicate în cercetarea ştiinţifică fundamentală şi aplicativă a crescut cu circa 6% pe an şi a atins în 1920 2,5 milioane, în timp ce numărul total de muncitori nu a sporit decît cu 1,4 % pe an. Numărul de oameni de ştiinţă şi de ingineri la nivelul de doctorat a crescut de la aproximativ 4000 în 1900 la 87 000 în 1960 şi aproximativ 168 000 în 1970, ceea ce indică o creştere de ordinul a 7% pe an. Trebuie subliniat faptul că acest avînt nu are loc pe seama altor domenii ale culturii, deoarece, între 1914 şi 1959, procentul celor care şi-au trecut doctoratul în ştiinţe nu a crescut decît de la 48% la 57%.

Creşterea numărului de specialişti a fost însoţită de o sporire a numărului membrilor societăţilor ştiinţifice şi de o creştere continuă a numărului acestor grupări.

American Association for the Advancement of Science (Asociaţia americană pentru progresul ştiinţei) a încercat să unească numeroasele societăţi ştiinţifice naţionale; între 1948 şi 1955 numărul acestor organisme care au aderat la A.A.A.S. a crescut de la 208 la 265. În 1961, peste 2 milioane de persoane erau afiliate la A.A.A.S., făcînd astfel ca această asociaţie să fie cea mai mare şi una dintre cele mai importante organizaţii ştiinţifice din lume.

Numărul celor ce au aderat individual la A.A.A.S. reprezintă un indice al dezvoltării profesiilor ştiinţifice din Statele Unite ale Americii. La înfiinţarea sa în 1948, A.A.A.S. reunea 461 de membri. La cea de-a 50-a aniversare a sa, ea grupa 2000. 29 de ani mai tîrziu, în momentul intrării Statelor Unite ale Americii în primul război mondial, numărul se apropia de 9000. De atunci, această creştere s-a accelerat: 42 000 de membri în 1948, 60 000 în 1960 etc.

Un studiu recent asupra dezvoltării principalelor 60 de societăţi ştiinţifice şi tehnice americane în cursul ultimilor 20 ani confirmă această constatare şi dovedeşte că în respectiva perioadă numărul membrilor lor a crescut cu 8% pe an. Societăţile de fizică şi de electronică prezintă creşterea cea mai rapidă, deoarece numărul membrilor lor a crescut de 6 ori, în timp ce pentru alte societăţi ştiinţifice a crescut doar de 3,5 ori.

Şi alte elemente trebuie luate în considerare. Înainte de cel de-al doilea război mondial, majoritatea fizicienilor erau folosiţi în învăţămînt şi în cercetarea universitară şi mai puţin de o treime din cei cu doctoratul în fizică se îndreptau spre laboratoarele guvernamentale sau industriale. După război, situaţia s-a schimbat în mare măsură, astăzi majoritatea fizicienilor consacrîndu-se cercetării în laboratoarele guvernamentale sau în cele industriale. O schimbare analoagă, deşi mai puţin evidentă, a avut loc în toate domeniile ştiinţei.

Un fapt şi mai caracteristic îl constituie creşterea rapidă a cheltuielilor destinate cercetării ştiinţifice şi tehnice. În cursul ultimului deceniu, aceste cheltuieli au sporit cu circa 15% pe an, în timp ce procentul mediu de creştere a producţiei naţionale nu a fost decît de 3,5%. Aceste cheltuieli au fost efectuate în diverse sectoare ale economiei de stat şi particulare, precum şi în universităţi. Dezvoltarea cea mai spectaculoasă a avut loc în perioada ce a urmat celui de-al doilea război mondial. În 1938, cheltuielile în acest domeniu se ridicau la un total de 264 milioane dolari (guvernamentale, 48 milioane, 18%; industrie, 177 milioane, 67%; universităţi, 28 milioane, 11%; alte surse, 11 milioane, 4%). După această dată totalul cheltuielilor a crescut de peste 40 de ori, din care fondurile guvernamentale acoperă astăzi mai mult de jumătate, şi anume 9 miliarde de dolari în 1961 din totalul de 14 miliarde.

Subvenţiile pentru cercetarea fundamentală, care reprezintă circa 8% din acest total, sînt în majoritate acordate de stat, deşi în mare parte aceste cercetări sînt efectuate în universităţi.

Perioadele de creştere rapidă a acestor subvenţii au coincis cu cele de activitate militară. Aceste cheltuieli au crescut de la 74 milioane de dolari pe an în 1940 la 1,6 miliarde în 1945, iar fracţiunea cea mai importantă a acestei creşteri a fost destinată realizării bombei nucleare.

Acţiunile militare au fost însoţite şi ele de o creştere rapidă a bugetelor de cercetare ştiinţifică şi tehnică. Un nou salt al creditelor acordate cercetărilor ştiinţifice şi tehnice a urmat în 1958, după lansarea primului satelit artificial sovietic.

Fără îndoială că cheltuielile destinate cercetării fundamentale au crescut mult mai lent decît cele dedicate, mai mult sau mai puţin direct, unor scopuri militare. Cu toate acestea, National Institutes of Health (Institutele naţionale ale sănătăţii) şi National Science Fondation (Fundaţia naţională de ştiinţă) au beneficiat de interesul crescînd manifestat de public faţă de ştiinţă şi au putut realiza o serie de vaste programe de cercetare științifică. Astfel, National Institutes of Health și-au mărit bugetul de 9 ori de la fundarea lor care a avut loc cu puțin timp înaintea celui de-al doilea război mondial.

În cursul ultimilor ani, guvernul federal și-a întărit rolul său de conducere, subvenționînd cercetările atît în laboratoarele de stat cît și în institutele neoficiale, și se pare că totalul subvențiilor statului va continua să crească sub presiunea necesităților. Astfel, în cursul acestei perioade, organizarea cercetării științifice și formarea de noi specialiști au ocupat un loc din ce în ce mai important în politica națională.

Problema cea mai controversată este valoarea efectului acestei dezvoltări rapide asupra calității muncii științifice.

La sfîrșitul celui de-al doilea război mondial, V. Bush, unul din savanții care au participat la efortul științific din timpul războiului, își prevenea concetățenii cu cuvintele: „Supremația noastră în domeniile cercetării aplicative și a tehnologiei nu trebuie să ne facă să uităm că, în domeniul cercetării pure (fundamentale) și al descoperirii de noi cunoștințe fundamentale și principii științifice de bază, America nu ocupă un loc de primă importanță".

Dependența Americii față de Europa în privința progresului științelor de bază și a formării de specialiști competenți datează din secolul al XIX-lea și a continuat și în cursul primelor decenii ale secolului al XX-lea.

I.I. Rabi supraestima schimbarea intervenită în această direcție, cînd declara: „Cînd am fost pentru prima dată în Europa acum un sfert de secol eram un provincial. Cînd m-am reîntors după război, Europa devenise provincială".

Totuși această schimbare este astăzi evidentă, iar importanța sa reflectă modificările intervenite în sprijinul financiar acordat științei americane și în activitatea acesteia. Între 1901 și 1939, dintre cele 128 de premii Nobel, decernate pentru fizică, chimie, medicină și fiziologie, 15 au fost obținute de savanți americani. Din 102 premii Nobel, decernate între 1943 și 1961, americanii au primit 47.

AVÎNTUL ȘTIINȚEI AMERICANE. COTITURI DECISIVE. La începutul secolului, activitatea științifică americană era încă foarte redusă.

În 1902, C. Snyder sublinia că, în ciuda unor individualități remarcabile și a unor rezultate de valoare, America nu joacă decît un rol de mîna a doua în domeniul științei. Dar el nu considera că această situație se datora unor lipsuri ale sistemului de învățămînt, deoarece, în privința numărului de instituții de învățămînt superior cu renume, America nu era depășită decît de Germania.

Numeroși savanți au încercat să stabilească cauzele acestei slăbiciuni continue a Americii în studiul științelor fundamentale.

Fizicianul H.A. Rowland regreta faptul că „o mare parte din intelectualii acestei țări își epuizează eforturile în profesarea unor științe denumite practice, destinate satisfacerii necesităților noastre materiale, în timp ce pentru fundamentele acestui domeniu, care nu fac apel decît la inteligența noastră, sînt alocate fonduri mici". Americanii, considera el, confundă ştiinţa cu invenţia mecanică şi cu tehnica. Avîntul asociaţiilor ştiinţifice americane îl îndemna totuşi să spere că această lipsă de spirit ştiinţific nu va mai dura.

Astronomul Simon Newcomb, deşi critica şi el situaţia de ansamblu a ştiinţei americane, spera într-o îmbunătăţire viitoare. El credea că prin fundarea Institutului Carnegie de la Washington s-ar putea întinde o punte de legătură între savanţi şi oamenii politici, lipsa de legătură fiind considerată drept principala cauză a neînţelegerii manifestate de cercurile conducătoare faţă de ştiinţă. Remediul propus de Newcomb era simplu şi direct: să se transforme Washington-ul într-un centru intelectual.

Declanşarea războiului din 1914 a catalizat eforturile celor care cereau transformarea ştiinţei americane. Un comitet prezidat de G.E. Hale l-a convins pe preşedintele Wilson să creeze National Research Council (N.R.C.) (Consiliul naţional al cercetării), cu scopul de a dezvolta colaborarea dintre diversele instituţii de cercetare existente, guvernamentale, industriale etc., şi de a întări astfel apărarea naţională. Bine cunoscut ca astronom şi ca director al Observatorului de la Mount Wilson, Hale a fost un remarcabil iniţiator şi organizator. La cererea sa, National Academy of Science şi-a oferit în 1916 ajutorul său preşedintelui Statelor Unite ale Americii. Hale considera că ştiinţa ar putea permite ieşirea din impasul războiului poziţional prin punerea la punct a unui armament de tip nou. Pentru a unifica cercetarea fundamentală şi cea aplicativă, N.R.C. a făcut apel şi la inginerii din principalele institute de cercetări industriale.

Cînd, la începutul anului 1917, relaţiile Statelor Unite ale Americii cu Germania s-au agravat, Hale a fost dublat de fizicianul R.A. Millikan, care a devenit principalul administrator la N.R.C. La început, N.R.C. nu a putut obţine subvenţii guvernamentale şi a trebuit să facă apel la fonduri particulare; primele subvenţii au fost acordate de Carnegie Corporation şi Rockefeller Foundation. Mai tîrziu, N.R.C. a primit un ajutor guvernamental, dar fondurile particulare au continuat să acopere cea mai mare parte a bugetului său.

La începutul anului 1918, N.R.C. a iniţiat organizarea lui Research Information Service. Această instituţie a obţinut crearea de posturi de ataşaţi ştiinţifici pe lîngă ambasadele din Londra şi Paris; conducătorii N.R.C.-ului considerau deci că ştiinţa americană depinde în mare măsură de ştiinţa şi tehnica europeană.

Efortul de cercetare din cursul primului război mondial a fost apreciat în mod diferit. În orice caz, necesitatea de a obţine rezultate imediate a plasat cercetarea fundamentală pe un plan secundar şi a orientat personalul ştiinţific din colegii, universităţi şi din industrie spre necesităţile de război, în detrimentul celorlalte direcţii de cercetare. Unii au considerat însă că acest inconvenient a fost în mare măsură compensat de „minunatele realizări impuse de presiunea necesităţilor şi care au demonstrat posibilităţile de aplicare a cercetării ştiinţifice".

La sfîrşitul războiului, conducătorii N.R.C.-ului au încercat să consolideze rezultatele obţinute, în scopul de a ridica ştiinţa americană la un nivel corespunzător celui pe care Statele Unite ale Americii îl ocupau pe plan politic internaţional. „Nu vom avea o ştiinţă corespunzătoare importanţei noastre, scrie unul dintre ei, decît atunci cînd universităţile europene vor adopta inovaţiile noastre".

În continuare, N.R.C. a supravieţuit ca ramură a lui National Academy of Science, cu proprii săi membri, proveniţi din cele 79 de societăţi ştiinţifice care participaseră la crearea sa. Deşi îşi avea sediul la Washington şi se bucura de un statut semioficial, a fost integral finanţat din fonduri particulare şi nu a avut o organizare centrală suficient de puternică pentru a coordona activitatea ştiinţifică. Dealtfel, acţiunea guvernamentală în domeniul ştiinţei a fost foarte limitată în cursul deceniului ce a urmat primului război mondial; subvenţiile acordate cercetării ştiinţifice şi tehnice nu au depăşit niciodată 2% din bugetul federal, sau un total anual de 50 milioane de dolari.

Cu toate acestea, au fost lansate mai multe apeluri în favoarea unei politici a ştiinţei. V. Kellog, director la N.R.C., a recomandat iniţierea unor acţiuni comune pentru rezolvarea anumitor probleme ştiinţifice. K. Compton a făcut apel la planificare în scopul utilizării maxime a potenţialului ştiinţific.

Marea criză economică din 1930 a condus la o scădere rapidă a ajutorului financiar acordat cercetării ştiinţifice. H. Hoover a înţeles importanţa ştiinţei şi, chiar dacă nu i-a acordat subvenţii federale, s-a preocupat cel puţin de orientarea fondurilor particulare pentru ajutorarea dezvoltării cercetărilor fundamentale.

În acest scop, el a încercat să stimuleze interesele oamenilor de afaceri. „Toate băncile noastre, a afirmat el, fac mai puţin pentru cetăţeni într-un an, decît fac descoperirile lui Faraday într-o singură zi". Chiar în momentele cele mai grele ale depresiunii din 1932, Hoover considera că cercetarea ştiinţifică va depăşi, în cele din urmă, acele tendinţe şi va conduce la o mai mare productivitate şi prosperitate.

La început, New Deal-ul (Noua cale), proclamată de administraţia preşedintelui Roosevelt, nu a ştiut ce atitudine să adopte faţă de cercetarea ştiinţifică. În perspectivă, administraţia putea să fie beneficiară; dar ea nu părea capabilă să dea un sprijin imediat unei economii în criză. Noul secretar al agriculturii, H.A. Wallace, a fost cel care a propus o politică ştiinţifică activă.

„Ştiinţa, arată el, a transformat sărăcia în abundenţă. Faptul că ea ne-a fost folositoare nu ne dă dreptul să o facem răspunzătoare de incapacitatea noastră de a repartiza producţia conform cerinţelor şi de a distribui echitabil fructele abundenţei". Wallace înţelegea ştiinţa într-un sens foarte larg, incluzînd atît ştiinţele sociale cît şi ştiinţele naturii şi aplicaţiile lor. El considera că politica liberului-arbitru în domeniul ştiinţei reprezintă o eroare şi că savanţii şi inginerii trebuie să fie conştienţi de implicaţiile sociale ale cercetărilor lor.

Savanţii americani au fost atunci invitaţi să colaboreze la experienţele sociale ale New Deal-ului.

Science Advisory Board, creat în 1933, sub conducerea lui K. Compton, un înflăcărat partizan al planificării cercetării ştiinţifice, a analizat diversele aspecte ale unei organizări guvernamentale a cercetării. Acest comitet a elaborat apoi un program de acţiune (Recovery Program of Science Progress). Programul de utilizare a progreselor ştiinţei, care insista asupra obiectivelor sociale ale ştiinţei şi propunea asocierea savanţilor şi specialiştilor la politica New Deal-ului. Dar aceste propuneri nu au fost adoptate, iar Comitetul a fost dizolvat în 1935 fără a fi obţinut subvenţionarea reorganizării cercetării de către guvern. Cu toate acestea, în cursul ultimei etape a New Deal-ului, au fost realizate unele proiecte de subvenţionare a ştiinţei. Sub conducerea lui National Resources Comittee, a fost efectuată o analiză amănunţită a tuturor aspectelor cercetării guvernamentale, în raport cu activităţile ştiinţifice ale industriei şi universităţilor (Research — A National Resource, 1938). În decurs de un an, resursele puse la dispoziţia comunităţii ştiinţifice au depăşit totalul subvenţiilor primite în timpul deceniului marii crize economice.

Astfel, la declanşarea ostilităţilor în Europa, ştiinţa americană era mai bine organizată, iar necesitatea sprijinirii sale de către guvern şi societate era mai bine înţeleasă. Ea a fost chemată atunci să iniţieze cercetări aplicative legate de necesităţile de război. Un fapt care a influenţat mult asupra dezvoltării ştiinţifice în Statele Unite ale Americii l-a constituit comportarea Germaniei naziste faţă de ştiinţă. Marile universităţi germane, centre mondiale de educare ştiinţifică pe lîngă care numeroase generaţii de americani şi-au completat formaţia lor ştiinţifică, au trecut sub controlul politic al naziştilor. În ele a fost introdusă cenzura, iar profesorii „nearieni“ au fost îndepărtaţi sau puşi în situaţii dificile. Între 1933 şi 1938, peste 1800 de savanţi talentaţi — dintre care mai mult de un sfert din laureaţii Premiului Nobel germani — au fost excluşi din universităţile Germaniei şi Austriei, în timp ce numărul studenţilor în ştiinţe a scăzut cu două treimi. Mulţi dintre savanţii exilaţi au emigrat în Statele Unite ale Americii, întărind astfel resursele intelectuale ale acesteia în domeniile învăţămîntului şi cercetării ştiinţifice. Una din schimbările cele mai importante provocate de război constă în organizarea muncii de cercetare. Colective de cercetare operativă, formate din numeroşi savanţi, au abordat probleme militare complexe cu ajutorul metodelor ştiinţifice. Alte colective au fost însărcinate cu realizarea şi punerea la punct a unei noi arme: bomba nucleară. În primii ani ai războiului au fost create mai multe organisme pentru a coordona importantele contribuţii ale ştiinţei la cercetarea militară şi tehnică. Office of Scientific Research and Development (O.S.R.D.), condus de V. Bush, a inclus în particular un Comitet de cercetare pentru apărarea naţională şi un Comitet de cercetări medicale. Pe bază de contracte încheiate cu aceste organisme, o serie de colective ştiinţifice au participat, adesea în cadrul universităţilor, la rezolvarea unor probleme importante. Printre succesele lor cele mai de seamă trebuie amintită perfecţionarea radarului. Activitatea care în final a condus la drama cea mai răsunătoare a fost şi cea mai puţin cunoscută din timpul războiului. Manhattan Engineering District, aparţinînd fostelor armate, a fost însărcinat cu organizarea acelei gigantice întreprinderi ştiinţifice şi industriale din care au ieşit bombele nucleare care au explodat la Hiroshima şi Nagasaki. Ideea unei bombe cu uraniu, concepută de fizicieni, a fost acceptată cu rezerve de guvern, care ezita să cheltuiască sume enorme pentru un proiect a cărui reuşită era nesigură. Dar savanţii, printre care se numărau şi numeroşi refugiaţi de sub regimul nazist, au reuşit să convingă cercurile conducătoare că Germania ar putea fi şi ea angajată în punerea la punct a acestei arme.

Cotitura a avut loc în iulie 1941. Progresele semnalate în diferite laboratoare păreau să dovedească că fabricarea bombei este accesibilă din punct de vedere ştiinţific. Un raport de provenienţă engleză permitea să se spere că o bombă de dimensiuni destul de reduse, pentru a putea fi transportată cu avioanele existente, ar fi putut fi realizată în doi ani. Acest punct de vedere era fără îndoială prea optimist, dar în cursul lunilor care au precedat şi au urmat intrării Statelor Unite ale Americii în război, a fost abordat studiul sistematic al diferitelor probleme implicate de această realizare. În laboratoarele de la Columbia, Chicago şi Berkeley au fost recrutate colective de cercetători în scopul studierii diverselor aspecte ale separării izotopilor, ale construirii unui reactor nuclear şi ale proiectului unei bombe etc. Oraşe întregi au fost construite din temelii, ca Oak Ridge (Tennessee) şi Hanford (Oregon) şi au devenit importante centre de cercetare şi de aplicaţii. Pe o colină la Los Alamos (New Mexico), J.R. Oppenheimer şi-a adunat un grup de fizicieni dintre cei mai talentaţi din lume.

Reuşita acestei acţiuni, realizarea bombei nucleare, a deschis în nou capitol în istoria ştiinţei. Simbolizînd intrarea omului în era nucleară, ea releva totodată sensul înalt al responsabilităţii sociale pe care-l avea comunitatea ştiinţifică şi sublinia rolul excepţional pe care ştiinţa urma să-l aibă în problemele de guvernămînt şi în viaţa publică. Suma cheltuită pentru punerea la punct a primelor bombe nucleare, de ordinul a două miliarde de dolari, depăşea totalul tuturor subvenţiilor federale acordate mai înainte cercetării ştiinţifice şi tehnice. Mai semnificativ este faptul că America a demonstrat capacitatea sa de a utiliza eficient o astfel de sumă. Este adevărat că o parte din savanţii cei mai remarcabili din perioada de război erau emigranţi, ca: E. Fermi, L. Szilard, E. Wigner, E. Teller, J. Franck, E. Segré etc. Nu se poate nega însă că acest colectiv cuprindea şi un important grup de valoroşi fizicieni născuţi în Statele Unite ale Americii: A.H. şi K.T. Compton, I.I. Rabi, J.R. Oppenheimer, V. Bush, K. Bainbridge, J. Conant, E.O. Lawrence, G.T. Seaborg etc. În timp ce la începutul secolului al XX-lea S.U.A. nu aveau nici o organizaţie ştiinţifică de mare anvergură, în cursul celui de-al doilea război mondial, ele şi-au creat o comunitate ştiinţifică destul de puternică, de variată şi bogată în talente pentru a realiza adevărate miracole ştiinţifice şi tehnice.

ÎN PRIMA LINIE A ŞTIINŢEI. Distrugerile suferite de o mare parte din instalaţiile de cercetări europene, precum şi emigrarea unei părţi din savanţii lor cei mai remarcabili nu explică decît în parte faptul că Statele Unite ale Americii au ajuns în primele rînduri ale ştiinţei mondiale. În realitate, comunitatea ştiinţifică care era în formare a profitat de mijloacele puse la dispoziţia sa în timpul războiului pentru a se ridica la această situaţie.

Trebuie citat un domeniu special în care Statele Unite ale Americii şi-au dovedit foarte de vreme superioritatea şi şi-au menţinut-o pînă în prezent. Acesta se referă la studiul eredităţii şi geneticii care reprezintă primul sector al ştiinţei în care americanii au adus importante contribuţii originale.

Redescoperirea legilor lui Mendel în 1900 a atras după sine o dezvoltare a studiilor experimentale asupra eredităţii. În 1909, eminentul zoolog american Th.H. Morgan a început cercetările sale în acest domeniu nou, în care nici o tradiţie nu atrăgea încă pe studenţi spre vreun centru european de cercetări specializate. Genetica îi interesa în special pe cercetătorii care doreau să transforme biologia într-o ştiinţă precisă şi analitică. Contribuind la aceste noi cercetări cu tot talentul şi cu tot dinamismul său, Morgan a format în laboratoarele sale din Columbia (iar în timpul verii la Woods Hole) un colectiv activ de studenţi şi de tineri colaboratori care au abordat problemele ridicate de cercetările lor.

Teoria cromozomică a eredităţii a fost prima dintre teoriile „clasice" ale geneticii, elaborate de colectivul lui Morgan. Primii săi colaboratori, H.J. Muller, A.H. Sturtevant şi C. Bridges, figurează printre creatorii geneticii moderne. De asemenea, între 1910 şi 1927, numeroşi studenţi străini au frecventat centrul de genetică din Columbia, de faimă mondială. Ereditatea legată de sex, cartografia genică a cromozomilor, efectele genetice ale diviziunii imperfecte a celulei nu reprezintă decît unele din principalele contribuţii ale acestui laborator.

Antrenaţi poate de aceste descoperiri efectuate în ţara lor, şi alţi americani au efectuat cercetări în alte sectoare ale geneticii. G. Beadle a studiat genetica *Drosophilei* alături de Sturtevant. Lucrările pe care le-a realizat apoi cu chimistul E.L. Tatum au confirmat ipoteza lui S. Wright, conform căreia genele acţionează direct asupra metabolismului celular. Importanţa acestor rezultate obţinute înainte de război permite înţelegerea faptului că numeroase progrese esenţiale realizate după 1945 provin din laboratoarele americane sau de la cercetătorii formaţi în aceste centre.

Deşi în fizică, chimie, matematică şi astronomie se pot de asemenea cita remarcabili oameni de ştiinţă americani — dintre care mulţi au primit Premiul Nobel pentru lucrări realizate înainte de cel de-al doilea război mondial — genetica apare ca un sector privilegiat, în care americanii au stabilit o tradiţie timpurie şi remarcabilă prin rezultatele ei. Împrejurările care i-au permis lui Morgan să exercite o influenţă atît de mare s-au întîlnit şi în alte cazuri, în care savanţi inventivi şi pricepuţi au abordat o problemă critică la momentul potrivit şi au reuşit să selecţioneze şi să stimuleze un grup de studenţi şi colaboratori activi.

Astfel, fizicianul I.I. Rabi, format la Hamburg în laboratorul lui O. Stern, a pus la punct metoda jetului (fasciculului molecular) (1929) şi a condus apoi la Columbia University cercetările unui colectiv care a explorat numeroasele consecinţe ale acestei descoperiri. Perspicacitatea şi inteligenţa sa au atras numeroşi tineri fizicieni americani spre acest nou şi fecund domeniu al fizicii.

Principalele realizări ale fizicii moderne nu au apărut totuşi pe solul american, ci în centrele europene cu o bogată tradiţie ştiinţifică. În cursul primelor trei decenii ale acestui secol, Copenhaga, Cambridge (Anglia) şi Göttingen au fost centrele cele mai active în care tineri americani s-au format în jurul lui Bohr, Rutherford, Heisenberg şi al altor mari savanţi care descifrau tainele naturii. Contribuţiile fizicienilor americani au devenit mai numeroase după 1930, cînd o serie de noi instalaţii nucleare, ca ciclotronul lui E.O. Lawrence de la Radiation Laboratory din California, au început să atragă atenţia. Dar importante schimbări intervenite în metodele de cercetare şi cheltuielile enorme destinate ştiinţei după începutul celui de-al doilea război mondial au fost cele care au asigurat fizicii americane un loc de frunte.

Paralel cu avîntul pe care l-a cunoscut știința în Statele Unite ale Americii, s-a evidențiat și caracterul său internațional. Apelul lui K. Compton pentru restaurarea instituțiilor științifice și folosirea mijloacelor de studiu distruse în timpul războiului a avut un deosebit ecou. Conferințele științifice au căpătat un caracter internațional din ce în ce mai pronunțat, și astăzi numeroase cercetări sînt efectuate în paralel sau în colaborare între diverse țări. Noile probleme sociale ale științei privesc toate națiunile. Puterea, rapiditatea și eficacitatea sînt problemele care preocupă în primul rînd societatea, deoarece s-a dovedit că știința permite nu numai extinderea domeniului cunoștințelor ci și faptul că ea poate fi folosită la întărirea securității naționale. Aceasta din urmă exercită o puternică constrîngere care riscă să ducă la concluzii eronate. Dorința de a progresa cît mai rapid și de a asigura un avans tehnic și deci un avantaj nu este nouă în istoria americană. Aceeași dorință l-a inspirat pe J. Henry să pledeze în favoarea cercetării teoretice. Aceste reflexii au devenit familiare pentru savanții contemporani și un secol mai tîrziu, făcîndu-se ecoul lui Henry, V. Bush nu mai lasă nici o îndoială în privința scopului actual.

> „Deosebirea dintre cercetarea pură și cea aplicativă nu este nici rigidă și nici constantă, iar cercetătorii din industrie pot fi preocupați cu probleme de natură esențial teoretică. Dar trebuie subliniat faptul că există o concepție greșită care guvernează cercetarea: sub presiunea necesității unor rezultate imediate și în afară de cazul cînd se iau măsuri hotărîte de protejare, cercetarea aplicativă elimină invariabil cercetarea fundamentală".

BIBLIOGRAFIE

B. BARBER, *Science and the Social Order*, I, 11, Glencoe, 1952.

R.S. BATES, *Scientific Societies in the United States*, ed. a 2-a, New York, 1958.

W.R. BRODE, *The Growth of Science and a National Science Program*, în „American Scientist", **50**, 1—28, 1962.

J.E. BURCHARD (ed.), Mid-Century, *The Social Implications of Scientific Progress*, Cambridge, 1950.

V. BUSH, *Science, The Endless Frontier*, Washington, 1945 (reimpr. 1960).

A.H. DUPREE, *Science in the Federal Government; A. History of Policies and Activities to 1940*, Cambridge, 1947.

R.G. HEWLETT, O.E. ANDERSON JR., *The New World 1939—1946*, vol I. *A, History of the United States Atomic Energy Commission*, University Park, Pa., 1962.

G. HOLTEN, *Scientific Research and Scholarship, Notes Toward the Design of Proper Scales*, în *Daedalus*, Spring, 1962, pp. 362—399.

E. MENDELSOHN, *Science in America ... the 20th Century*, în A. M. SCHLESINGER JR. și M. WHITE (ed), *The Path of American Thought*, Boston, 1963. National Resources Committee, Research. A National Resource, Washington, 1938.

National Science Foundation, *Basic Research. A National Resource*, Washington, 1957.

IDEM, *Federal Funds for Science*, X, Washington, 1962.

IDEM, *The Long-Range Demand for Scientific and Technical Personnel: A Methodological Study*, Washington, 1961.

IDEM, *Organization of the Federal Government for Scientific Activies*, Washington, 1956.

IDEM, *Proceedings of a Conference of Academic and Industrial Basic Research*, Washington, 1961.

IDEM, *Tenth Annual Report*, Washington, 1960.

D.J. DE S. PRICE, *Diseases of Science*, în *Science Since Babylon* New Haven, 1961, pp. 92–124.

D.K. PRICE, J.S. DUPREE, W.E. GUSTAFSON, *Current Trends in Science Policy in the United States*, în *Impact of Science on Society*, **10**, 187–213.

D.K. PRICE, *Government and Science, Their Dynamic Relation in American Democracy*, New York, 1954.

I. STEWARD, *Organizing Scientific Research for War*, Boston, 1948.

CAPITOLUL IV

Ştiinţa în America Latină (secolele XIX-XX)

America Latină a cunoscut, în secolul al XIX-lea şi în parte şi în secolul al XX-lea, condiţii puţin propice dezvoltării unei vieţi ştiinţifice.

Vechile colonii spaniole şi-au obţinut definitiv independenţa în 1824 şi în ciuda eforturilor lui Bolivar, s-au constituit în republici independente, iar Brazilia, în 1882, păstrîndu-şi forma monarhică şi proclamîndu-l împărat pe Don Pedro, fiul regelui Portugaliei. În total, pe ruinele vechiului imperiu hispano-portughez, au fost create 18 state inegale ca suprafaţă teritorială şi ca importanţă (după independenţa Cubei în 1898 şi după apariţia statului Panama prin separarea de Columbia numărul lor s-a ridicat la 20 în 1904).

Odată războaiele de independenţă terminate, a început o dureroasă perioadă de rivalităţi, de lupte crîncene între aceste state, în vederea stabilirii frontierelor, rezultatul fiind o epuizare generală. Grave tulburări interioare au permis succesiunea unor dictaturi şi a unor revoluţii, provocate de noile condiţii politice, de conflictele sociale şi adesea rasiale şi de condiţii economice diferite. Transformarea dificilă a unei economii coloniale într-o economie modernă, afluxul de emigranţi europeni, ritmul accelerat al creşterii populaţiei (actualmente unul din cele mai ridicate din lume: 2,7% între 1950 şi 1960) rămîn probleme actuale ale ţărilor sud-americane. Se poate considera că multe forţe umane au fost astfel acaparate, adesea risipite şi în orice caz pierdute pentru ştiinţă, care în vremuri mai liniştite ar fi putut beneficia de ele. În ciuda condiţiilor materiale nefavorabile, sud-americanii au avut totdeauna o mare stimă pentru cultură; o dovadă este prestigiul de care se bucură, în toate păturile sociale, titlul de doctor; viaţa intelectuală a fost şi ea activă.

Vechile universităţi din epoca colonială, Mexic, Lima, Quito, Bogota, Caracas, Cordoba, au continuat să funcţioneze; unele au fost modernizate şi dezvoltate prin adăugarea de noi facultăţi, iar altele au fost înfiinţate în cursul secolelor XIX şi XX. În Argentina, care nu avea decît Universitatea Cordoba, au mai luat fiinţă cele din Buenos Aires în 1821, din Tucuman în 1914 şi Universitatea Littoral în 1919; Brazilia, lipsită de Universitate în perioada colonială, şi-a înfiinţat una la Rio de Janeiro în 1920 şi o alta în Brasilia în 1962.

Învăţămîntul ştiinţific a rămas însă pentru mult timp slab dezvoltat, făcîndu-se simţită pretutindeni o lipsă acută de laboratoare şi de centre de cercetare.

Din considerente de gust şi de tradiţii, latino-americanii tind mai mult spre disciplinele umanistice, cu o deosebită predilecţie pentru drept, decît spre ştiinţe şi aplicaţiile lor, cu excepţia medicinii.

Învăţămîntul are, în toate domeniile, un caracter didactic şi teoretic, ceea ce reprezintă un defect deosebit de grav pentru învăţămîntul ştiinţific. În perioada 1898—1918, Universitatea din Chile, o ţară minieră prin excelenţă, a acordat 1 700 diplome de drept şi numai 22 pentru ingineri.

În plus, învăţămîntul rămîne un privilegiu de clasă, deşi după 1900 el, teoretic, este gratuit şi obligatoriu. În toate statele, numărul de analfabeţi rămîne considerabil.

În ultimii ani însă, şi în special după sfîrşitul celui de al doilea război mondial, datorită ajutorului activ al U.N.E.S.C.O., au fost efectuate eforturi importante pentru răspîndirea învăţămîntului în mase, precum şi pentru perfecţionarea metodelor sale şi pentru adaptarea lui la cerinţele actuale ale dezvoltării sectorului ştiinţific şi tehnic.

O anchetă efectuată asupra ansamblului ţărilor latino-americane a arătat că în 1960 procentul de şcolarizare primară (între 6 şi 13 ani) a crescut pînă la 78%, dar învăţămîntul secundar, în general de un nivel mediocru, nu depăşeşte 20% din populaţia de vîrstă şcolară în Argentina şi 7,7% în Brazilia; în ceea ce priveşte învăţămîntul superior el nu a cuprins în 1960 decît 3,1% din populaţia între 20 şi 24 ani.

Această anchetă mai arată că numai 4% din studenţi au fost atraşi spre ştiinţele exacte şi naturale, 18% spre studiile inginereşti, 21% spre medicină şi 2% spre ştiinţele agricole.

Se poate considera că atracţia spre domeniile ştiinţifice va creşte odată cu dezvoltarea unor institute foarte moderne, cum ar fi Institutul de fizică atomică din San Carlos de Bariloche în Argentina, şcolile de geologie din Porto Allegre, Quro Preto şi Recife, destinate formării de ingineri pentru studiul „Poligonului secetei“ din Brazilia, sau Institutul geofizic din Mexic. În diverse ţări sud-americane, dezvoltarea cercetării ştiinţifice şi tehnice este coordonată de organisme oficiale, cum sînt Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas, în Argentina, Conselho Nacional de la Investigacion Cientificas, în Mexic, Conselho Nacional de Pesquisas, din Brazilia etc.

MEDICINA. Cu toate acestea, încă de la sfîrşitul secolului al XIX-lea, America Latină a jucat în progresul ştiinţific un rol important în domeniul medicinei.

Medicul Carlos Juan Finlay (1833—1915), care a profesat la Havana (Cuba), pe atunci focar al febrei galbene şi al malariei, a fost primul care a sugerat în 1881 că ţînţarul este un agent de transmitere a febrei galbene. Cercetări ulterioare, în care un alt medic cubanez, Juan Guiteras, va juca un rol mare, vor permite verificarea respectivei ipoteze şi astfel va putea fi începută lupta împotriva acestei temute boli tropicale.

În Brazilia, Carlo Chagas (1879—1934), directorul Institutului Oswaldo-Cruz, cercetînd o epidemie de malarie în statul Minas Geraes, a izolat o nouă specie de tripanozomă, *Trypanosoma Cruzi*, agent al tripanozomiazei americane, numită şi „boala lui Chagas“.

În 1947, Premiul Nobel pentru fiziologie şi medicină a fost atribuit fiziologului argentinian B.A.Houssay, directorul Institutului de fiziologie al Facultăţii de medicină din

Buenos Aires, pentru cercetările sale asupra rolului lobului anterior al hipofizei în metabolismul zahărului.

Alături de aceste nume ilustre, numeroşi alţi cercetători au contribuit la progresul medicinei, iar facultăţile de medicină au exercitat totdeauna o vie atracţie asupra societăţii sud-americane.

BOTANICA. Bogăţiile naturale ale continentului sud-american au atras în secolul al XIX-lea numeroşi savanţi străini. Mai multe expediţii ştiinţifice au fost subvenţionate de guvernele francez, englez, rus etc.

Printre cele mai importante expediţii le vom cita pe cele ale lui Gaudichaud-Beaupré în Brazilia, în Ecuador şi în Peru (1830—40), a lui Charles Darwin în Portugalia, Ţara de Foc, Chile şi Peru, a lui H. de Saussure în 1855 în Mexic. Între 1843 şi 1847, Hugh Weddell a explorat Anzii şi a fost primul care le-a studiat flora. Mai trebuie să se semnaleze inventarierea florei din Chile de către R.A. Philippi şi C. Reiche şi expediţiile englezului R. Spruce în bazinul Amazonului. Cunoaşterea florei sud-americane a făcut astfel mari progrese, ceea ce a avut ca rezultat publicarea a numeroase lucrări, în special cu florele amănunţite ale diverselor ţări.

În paralel cu eforturile depuse de europeni, s-a manifestat un viu interes pentru aceste cercetări şi în statele sud-americane, în care au fost organizate instituţii care participă activ la aceste inventarieri şi publicaţii. În fruntea acestei mişcări se află Argentina prin crearea, în 1823, a unui Muzeu de istorie naturală, prin publicarea unor reviste ca „Anales" (1874), „Physis" (1912), prin înfiinţarea unei catedre de botanică la Universitatea din Cordoba. În Mexic de asemenea este înfiinţat la Mexico, în 1866, Muzeul Naţional, iar prima catedră de botanică creată în 1911 la Universitate este încredinţată lui C. Reiche. În continuare, instituţiile consacrate ştiinţelor naturale şi ştiinţelor agronomice s-au înmulţit în numeroase ţări din America Latină.

ŞTIINŢELE PĂMÎNTULUI. Interesul pentru ştiinţele Pămîntului a început să se manifeste treptat în cursul secolului al XIX-lea, dar primele opere mai importante se datoresc unor străini: Darwin, fraţii Grandidier, germanul H. Steffen etc. Cercetarea minereurilor şi mai tîrziu a petrolului şi a apei vor activa însă cercetările geologice. Sînt iniţiate colecţii minerale la Muzeul Naţional din Rio, la Şcoala de mine din Peru, sau din Ouro Preto în Brazilia, şcoli care devin organisme active. Institutul geologic din Mexic, creat în 1891, va aduce o contribuţie importantă la cunoaşterea seismologiei, publicînd după 1927 harta seismică a Mexicului; în acelaşi timp, studiile vulcanologice primesc un nou impuls odată cu erupţia vulcanului Paracutin, a cărui evoluţie este urmărită de o întreagă echipă de geologi. Studiul regiunilor miniere permite publicarea hărţilor geologice parţiale pentru Peru, Columbia, Mexic, Brazilia.

În prezent, majoritatea statelor din America Latină au institute specializate în diferite ramuri ale ştiinţelor Pămîntului: institute de geofizică, de geologie, de oceanografie, de cercetări miniere.

Cu ajutorul U.N.E.S.C.O., în fiecare an se organizează numeroase reuniuni de studiu în diferite oraşe asupra unor probleme comune tuturor ţărilor latino-americane. Astfel au fost organizate seminare privind efectuarea hărţilor geologice ale Americii Latine, prospectarea şi evaluarea resurselor de ape subterane, privind terenurile aride ale continentului sud-american, oceanografia fizică şi ştiinţele mării.

În domeniul paleontologiei s-au obţinut rezultate importante. H. Weddell a descoperit în cursul expediţiei sale în Anzi oseminte fosile din pleistocen. În Argentina, C. şi F. Ameghino au realizat după 1887 o operă considerabilă, avînd prioritatea descrierii a numeroase specii de mamifere fosile, şi în sfîrşit în Mexic a fost descoperit, în 1947, omul din Tepexpan.

Faptele precedente nu reprezintă decît exemple din cîteva ţări şi cîteva domenii ale ştiinţei, alese printre cele mai reprezentative. Ele dovedesc existenţa în America Latină a unei vieţi ştiinţifice în strînsă legătură cu ştiinţa din Europa şi din Statele Unite ale Americii şi care atinge în anumite domenii un înalt nivel.

Este neîndoielnic faptul că dezvoltarea ştiinţifică în ţările sud-americane este strîns legată de progresul economic şi, în primul rînd, de dezvoltarea şi generalizarea învăţămîntului. Dar avîntul spectaculos al anumitor domenii tehnice din Brazilia, din Argentina şi din alte ţări, vitalitatea edificării ştiinţifice în aceste mari ţări sînt semne ale asimilării progresului şi permit a spera într-un viitor creator.

BIBLIOGRAFIE

F. DE AZEVEDO, *Brazilian Culture*, New York, 1950.
J. BABINI, *La evolucion del pensamiento cientifico en la Argentina*, Buenos Aires, 1954.
J. DE GALINDEZ, *Iberoamerica, su evolución politica, socio-economico, cultural é internacional*, New York, 1953.
E. DE GORTANI, *La ciencia en la historia de Mexico*, Mexico, 1963.
R. A. HUMPHREYS, *Evolution of Modern Latin America*, New York, 1947.
J. J. IZQUIERDO, *La fisiologia en Mexico*, Mexico, 1947.
IDEM, *Nuevas rutas para la especializacion cientifica en Mexico*, Mexico, 1947.
J. F. RIPPY, *Historical, evolution of Hispanic America*, ed. a 3-a, New York, 1946.
W. S. STOKES, *Latin America Politics*, New York, 1947.
Reviste: „The Americas", „The Hispanic American Historical Review", „Revista de Historia de America" etc.

CAPITOLUL V
Renaşterea ştiinţifică în ţările arabe

Studiul istoriei ştiinţei contemporane în ţările arabe este o sarcină care prezintă mari dificultăţi, iar absenţa unei monografii asupra acestui subiect nu constituie cea mai mică dintre greutăţi.

În volumul precedent am încercat să prezentăm o sinteză a tradiţiei unei vieţi ştiinţifice în lumea arabă, care reprezintă continuarea mult redusă a ştiinţei arabe din evul mediu.

Nu prea depărtaţi de ţările musulmane şi pornind de la traducerile latine ale lucrărilor arabe, europenii au permis ştiinţei să facă un salt considerabil. Decalajul dintre rămăşiţele strălucitei ştiinţe arabe din evul mediu folosită în ţările musulmane şi nivelul atins de ştiinţa europeană a devenit atît de mare, încît savanţii arabi au fost nevoiţi să recurgă fie la traducerea unor lucrări occidentale, fie chiar să studieze direct pe aceste cărţi.

Nici în acest domeniu nu s-a elaborat pînă acum vreun studiu de sinteză care să prezinte această evoluţie de ansamblu a ştiinţei în ţările arabe. Pentru a încerca să-i stabilim etapele, vom lua în considerare întîi cadrul politic şi apoi vom analiza situaţia ştiinţifică în ţările de limbă arabă, ceea ce se traduce în mare parte printr-un studiu al legăturilor ştiinţifice dintre lumea arabă şi cea occidentală.

Aceasta se datoreşte faptului că începînd din secolul al XIX-lea mişcarea ştiinţifică s-a transmis dinspre Occident spre Orient, în timp ce în evul mediu ea a avut un sens opus. Cu toate acestea, chiar în timpul declinului ei, ştiinţa arabă a continuat să intereseze pe europeni, dar mai mult dintr-un interes speculativ decît pentru a căuta realizări noi.

CADRUL POLITIC. În cursul primelor secole ale islamului, califii succesori ai profetului Muhammad (Mohamed) erau protectorii şi păzitorii religiei. Înainte de toate, ei erau comandanţi de armate, imami (preoţi) şi şefi de stat.

Odată cu invadarea Persiei de către mongoli, în 1258, centrele ştiinţifice şi în special Bagdadul, au fost distruse sistematic, iar hanul tătar l-a obligat pe califul abbasid să se tîrască la picioarele cailor săi. Un unchi al acestui ultim calif a fost înscăunat de Beibar la Cairo, primind ca răsplată dreptul de a guverna Egiptul, Siria, Hijaz (Hedjaz), Yemen şi ţările Eufratului.

Cucerirea Egiptului de turci în 1517 a schimbat totul, sultanul turc din Constantinopol atribuindu-şi treptat toate privilegiile califului şi, în cele din urmă, chiar şi titlul. Cu toate acestea, în afara teritoriului turc nimeni nu îi recunoştea acest titlu; dealtfel, autoritatea religioasă a sultanului asupra musulmanilor care locuiau în afara Turciei nu a fost stabilită decît în urma tratatului ruso-turc din 1774.

Secolele XIX şi XX au fost martorele prăbuşirii Imperiului otoman. Expansiunea ţărilor europene puternice s-a conjugat cu revoltele popoarelor aflate sub stăpînirea sultanului, ceea ce a dus la desprinderea succesivă a Greciei, a Serbiei şi a României, crearea statului bulgar, desprinderea Bosniei şi Herţegovinei, a Albaniei şi Macedoniei. În lipsa independenţei, Muhammad Ali a obţinut pentru Egipt o libertate de fapt de sub tutela otomană, precum şi ereditatea paşalîcului său.

Era colonială a schimbat încă o dată fizionomia imperiului musulman. Egiptul a devenit condominiu franco-englez şi apoi protectorat englez (1882); Algeria a fost cucerită de Franţa în 1830, aceasta stabilindu-şi protectoratul şi asupra Tunisiei (1881) şi Marocului (1912), Italia a ocupat Tripolitania (Libia). Provinciile arabe ale Imperiului turc, renăscute în cursul primului război mondial, nu au obţinut independenţa pe care o sperau: Franţa a primit mandatul asupra Siriei şi Libanului; majoritatea acestor state au trebuit să aştepte cel de-al doilea război mondial pentru a obţine independenţa, iar altele au trebuit să recurgă la războaie de eliberare.

În urma abolirii califatului în 1925, Turcia a devenit republică. De atunci lumea musulmană s-a diversificat treptat; panarabismul s-a manifestat prin crearea Ligii arabe (martie 1945), care, pe lîngă rolul său politic (salvgardarea independenţei şi suveranităţii ţărilor arabe), contribuie pe plan cultural la crearea unei „ştiinţe arabe“, sprijinind formarea unei limbi ştiinţifice arabe unificate.

ŞTIINŢA ARABĂ ŞI EUROPA. În evul mediu ţările arabe dispuneau de o superioritate incontestabilă. Toate numele mari ale lumii arabe erau cunoscute de studenţii şi savanţii Europei medievale; operele lor, traduse în limba latină, erau studiate şi comentate în principalele universităţi europene, iar autorii greci nu erau cunoscuţi, cel mai adesea, decît prin intermediul traducerilor din limba arabă.

Această situaţie însă n-a durat mult, treptat avînd loc o inversare a tendinţei, în favoarea lumii greco-latine. În domeniul medical, de exemplu, în secolul al XV-lea, ediţiile lucrărilor lui Hippocrate şi Galen erau multiplicate în limba lor originală.

Ştiinţa europeană, care datora mult ştiinţei arabe din evul mediu, nu a mai avut mult timp contacte cu aceasta din urmă. Iar dacă în ţările musulmane, mişcările ştiinţifice nu au mai avut o amploare demnă de interes, ştiinţa occidentală a cunoscut, dimpotrivă, în aceeaşi perioadă de timp o asemenea dezvoltare încît în secolul al XVIII-lea ţările musulmane nu mai aveau decît o singură posibilitate pentru a depăşi întîrzierea lor; să apeleze la ştiinţa europeană.

Trebuie totuşi subliniat faptul că la 20 de ani de la inventarea tiparului se publică la Padova ediţia princeps a lucrării lui Aristotel împreună cu traducerea latină a Enciclopediei lui Ar-Razī *(Liber dictus El Hawi)*. De asemenea, prima ediție în limba arabă a *Elementelor* lui Euclid, recenzată de Nașīr-ad-Din at-Tusī, a fost publicată la Roma în 1594.

A existat și o altă categorie de lucrări arabe care a continuat să intereseze pe savanții europeni. Traducătorii latini din evul mediu au ales de fapt dintre lucrările deja cunoscute în timpul lor. Dar în timp ce aceștia erau ocupați cu munca lor, savanții islamului continuau să realizeze opere de mare interes și uneori chiar mai complete decît cele ale predecesorilor lor. Astfel este cazul cu *Tratatul Simplelor* al lui Ibn al-Baytār și cu tabelele astronomice ale lui Ulugh-Beg, pentru a nu cita decît operele care au constituit obiectul unor importante cercetări ale orientaliștilor europeni.

RENAȘTEREA TÎRZIE A ȘTIINȚEI ÎN LUMEA ARABĂ. Contactele dintre țările arabe și Europa, foarte dezvoltate în evul mediu, au scăzut în perioada următoare, astfel încît, la sfîrșitul secolului al XVIII-lea, cînd Bonaparte a debarcat la Alexandria, aceste contacte în domeniul științific erau ca și inexistente, ceea ce explică decalajul considerabil care exista atunci între civilizațiile orientală și occidentală, precum și surpriza orientalilor la primul lor contact cu savanții care însoțeau armata franceză.

Din acest punct de vedere, abstracție făcînd de aspectul său militar, expediția lui Bonaparte în Egipt a avut și urmări utile, permițînd Orientului, în care știința rămăsese la nivelul său medieval, să cunoască progresele realizate de savanții europeni.

Șocul a fost foarte puternic, iar reacțiile diferite. În afara celor care uitau ceea ce a afirmat creatorul islamului — că știința are doar două mari ramuri, a religiei și a corpului — și care erau preocupați de studii teologice, existau numeroși orientali care doreau să atingă nivelul științific al Europei.

Desigur, se făceau și aprecieri pesimiste, ca aceea a unui istoric care afirma că decalajul dintre știința Europei și cunoștințele Orientului nu va putea fi depășit. Cu toate acestea, un om care cunoștea decalajul din domeniul militar era convins de contrariu: acesta era Muhammad Ali, căruia participarea la războiul împotriva lui Bonaparte îi oferise o idee clară despre acest imens decalaj. Devenind vicerege al Egiptului, prima sa grijă a fost să-și modernizeze armata. În acest mod a început renașterea tîrzie în țările arabe.

Această evoluție în conștiința anumitor conducători ai țărilor arabe, și în special a lui Muhammad Ali, a făcut necesară adoptarea unor măsuri destinate reducerii acestei întîrzieri: crearea de școli dotate cu profesori din Europa și trimiterea de studenți în țările acesteia.

Trebuia rezolvată o problemă, și anume problema lingvistică, deoarece inițial profesorii veniți din Europa nu cunoșteau limba arabă, iar aceasta, alături de turcă și persană, era singura limbă cunoscută de elevii lor.

Pentru crearea unei literaturi și a unei tehnologii științifice la nivelul celor din Europa, era necesară asigurarea formării de cadre de care țările arabe aveau cea mai mare nevoie. În acest scop, numeroși profesori europeni au ținut cursuri în limba lor, pe care interpreții le traduceau pentru elevi, transmițînd apoi profesorilor întrebările acestora. După aceea intervenea un al treilea personaj „revizorul“, care cunoștea de obicei ambele limbi și corecta activitatea traducătorului; apoi era elaborată o introducere, o concluzie şi se dădea un titlu operei realizate, după care lucrarea ajungea la tipografie.

În acest mod, profesorii din şcolile cu profil ştiinţific, ajutaţi de traducători şi revizori, au jucat un rol important în redactarea lucrărilor rezultate, în cea mai mare parte, după cursurile pe care le expuneau elevilor.

S-au efectuat apoi traduceri din limba franceză şi italiană. O şcoală modernă a fost creată de medicul francez Antoine Brathélemy, denumit „Clot Bey“. Un alt francez, dr. Perron, care a învăţat limba arabă împreună cu unul din revizorii cei mai celebri ai şcolii, şeicul Muhammad Ibn Omar at-Tūnusī, a putut participa atît la predarea cursurilor, cît şi la traduceri şi revizii.

Puţin mai tîrziu a fost creată Universitatea americană din Beirut, la care traducerile au fost realizate din limba engleză. Ulterior, traducerile din această perioadă au fost mai puţin apreciate, nivelul lor ştiinţific fiind considerat scăzut datorită modului lor de redactare.

Titlurile acestor lucrări erau în proză rimată, ca acelea ale operelor redactate în perioada care a precedat această renaştere; ele nu corespundeau nici obiectului lucrării, nici titlului original pe care autorul îl alesese pentru cursul său; dar ar fi nedrept să respingem în totalitate aceste lucrări, care reflectă, pe plan ştiinţific, învăţătura pe care profesorii veniţi din Europa au încercat să o introducă şi terminologia nouă care nu este de dispreţuit din punct de vedere lingvistic.

Lingviştii au şi o altă sursă, *Dicţionarul* lui at-Tūnusī, o enciclopedie care poate fi utilizată comod şi care defineşte precis terminologia medicală a epocii. El a fost realizat după un dicţionar medical francez, după care profesorii cei mai calificaţi ai Şcolii de medicină din Cairo au tradus în arabă toate articolele de medicină şi de ştiinţe naturale, adăugînd definiţiile termenilor conţinuţi în *Canonul* lui Avicenna şi cele ale lui Dawud al-Antaki (secolul al XVI-lea).

Autorul afirmă:

„Nu am fost satisfăcut de termenii arabi, de aceea în dicţionarul meu se vor găsi termeni latini, francezi, persani, folosiţi în limba arabă. Pentru cuvintele cu sens precis, definiţiile sînt scurte; iar pentru cele cu sens contestat explicaţiile sînt mai lungi“.

Această activitate de traduceri a continuat pînă în zilele noastre. Studiul limbilor străine a făcut inutilă contribuţia revizorului deoarece învăţămîntul ştiinţific foloseşte în majoritatea cazurilor o limbă străină.

Tabelul de mai jos (fig. 33) dovedeşte importanţa traducerilor efectuate în Egipt la începutul secolului al XIX-lea sub domnia lui Muhammad Ali.

PERSPECTIVE DE VIITOR. Se poate afirma în concluzie că, în general, după secolul al VIII-lea, ştiinţa arabă s-a manifestat iniţial prin existenţa unei vieţi ştiinţifice prospere în evul mediu şi printr-o influenţă de netăgăduit asupra ştiinţei europene. În ciuda unor atacuri şi critici severe, adesea nejustificate, cărţile arabe din evul mediu, prin traducerile lor în latină şi prin comentariile lor, au fost principalele manuale ale tinerilor universităţi europene.

Domeniul traducerii	*I/A*	*F/A*	*F/T*	*A/T*	*T/A*	*P/A*	*Total*
Dicţionare	1	—	—	—	—	—	1
Literatură	—	—	—	1	—	1	2
Pedagogie	—	1	—	—	—	—	1
Logică	—	1	—	—	—	—	1
Istoria filozofiei	—	1	—	—	—	—	1
Istorie	—	8	4	2	—	—	14
Geografie	—	1	—	—	—	—	3
Jurnal de călătorii	—	2	—	2	—	—	4
Geologie	—	3	—	—	—	—	1
Cartografie	—	3	—	—	—	—	3
Sociologie	—	1	—	—	—	—	1
Organizare politică şi administrativă	1	—	—	—	1	—	2
Medicină umană	1	31	—	2	—	—	34
Farmacie	—	2	—	—	—	—	2
Ştiinţe naturale	—	1	—	—	—	—	1
Chimie	—	3	—	—	—	—	3
Agricultură	—	3	—	—	—	—	3
Geometrie	—	5	2	1	2	—	10
Geometrie descriptivă	—	4	—	—	—	—	4
Algebră	—	1	—	—	—	—	1
Aritmetică	—	4	—	1	—	—	5
Trigonometrie	—	2	—	—	—	—	2
Hidraulică	—	2	—	—	—	—	2
Ştiinţe militare şi maritime	—	8	53	—	3	—	64
Total	3	111	61	9	6	1	191

I — italiană; *A* — arabă; *F* — franceză; *T* — turcă; *P* – persană.
Exemplu: *F/A* — traducere din limba franceză în limba arabă.

FIG. 33. STATISTICA TRADUCERILOR REALIZATE ÎN EGIPT, ÎN SECOLUL AL XIX-lea.

Trebuie subliniată în plus menţinerea unei vieţi ştiinţifice chiar în perioada denumită decadentă. Cu toate că nu se poate vorbi în acest caz de un ansamblu unitar, nu se poate nega efortul depus de anumite personalităţi remarcabile, a căror operă, evidenţiindu-se din masa compilaţiilor şi rezumatelor, rămîne demnă de înaintaşii lor din secolele X—XIII.

Odată cu începutul secolului al XIX-lea se poate vorbi în sfîrşit de o renaştere a ştiinţei arabe. Dacă a fost necesar un timp îndelungat pentru a-şi regăsi calea, aceasta s-a datorat faptului că trebuia depăşită o întîrziere care se accentua, precum şi dificultatea lingvistică. Problema majoră ce trebuia rezolvată a fost alegerea între modernizarea prealabilă a limbii arabe şi ridicarea nivelului ştiinţei; de această rezolvare depinde durata necesară pentru a cîştiga timpul pierdut.

O soluţie eficace se pare că a fost găsită, iar la un congres ştiinţific arab la care au participat universităţile din ţările arabe (Universitatea americană şi Universitatea franceză de la Beirut au fost de asemenea reprezentate) s-a hotărît ca limba învăţămîntului superior să fie limba naţională, adică araba.

Congresul a încurajat cadrele din învăţămîntul superior să traducă în limba arabă lucrări publicate în ţările cu nivel ridicat. În concluzie s-a afirmat că

„în ziua în care literatura ştiinţifică în limba arabă va fi suficient de dezvoltată, folosirea limbii naţionale — araba — va deveni o necesitate". Această dorinţă, votată în unanimitate, demonstrează, dacă mai era necesar, că savanţii din ţările arabe caută în primul rînd să-şi îmbogăţească literatura ştiinţifică naţională; ei acceptă pînă atunci, şi probabil pentru o durată destul de lungă, folosirea limbilor străine, care în anumite ţări sînt încă limbile folosite în învăţămîntul superior, în majoritatea facultăţilor şi institutelor ştiinţifice arabe.

Tot la acest congres au fost confruntate toate sistemele de învăţămînt ale ţărilor cu nivel ridicat şi dintre ele au fost alese în modul cel mai obiectiv metodele care au părut a fi cele mai bune.

Cînd se vorbeşte despre istoria ştiinţei contemporane în ţările arabe, nimeni nu este autorizat să formuleze păreri definitive asupra viitorului, ci doar să sublinieze efortul pe care acestea îl fac pentru a-şi dezvolta ştiinţa naţională, efort din care este exclus orice spirit părtinitor. Savanţii cu formaţie occidentală (engleză, americană, franceză) lucrează alături de cei formaţi în ţările răsăritene. Aceasta va conduce poate într-o zi la o nouă perioadă de strălucire a ştiinţei arabe. Istoricii ştiinţelor vor putea atunci să vorbească de ştiinţa arabă din evul mediu şi de cea din secolul al XX-lea.

BIBLIOGRAFIE

ARTIN (Yacub Paşa), *L'instruction publique en Égypte*, Paris, 1840.

IDEM, *Lettres inédites du Dr. Perron à M. J. Mohl* (B. I. E., seria 5, vol. III, 1904, pp. 137—152).

IDEM, *Lettres du Dr. Perron du Caire et d'Alexandrie à M. J. Mohl à Paris (1838—1854)*, Cairo, 1911.

ASH-SHAYAL (Jamal ad-Dīn), *At-tariama wa'l haraka al taqafiya fi'ahid Muhammad'Ali*, Cairo, 1951.

BACHATLY (Charles), *Un manuscrit autographe de don Raphaël* (B. I. E., vol. III, 1931, pp. 27—35).

IDEM, *Un membre oriental de l'Institut d'Egypte: don Raphaël (1759—1831)* (B.I.E., vol. XVII, 1934—35, pp. 237—260).

BAINVILLE, *L'expédition française d'Egypte* (Précis de l'histoire d'Egypte), vol. III, Cairo, 1933).

BEN YAHIS (Bubaker), *Ash-Shaikh at-Tunusī et son dictionniare.*

BIANCHI, *Catalogue général des livres arabes, persans et turcs imprimés a Boulaq en Egypte depuis l'institution de l'imprimerie dans ce pays* (J. A., seria IV, vol. II, 1843, pp. 24—61).

C. BROCKELMANN, *Geschichte der arabischen Litteratur*, 5 volume, Berlin şi Leiden (1898—1942).

CLOT BEY, *La création d'une école médicale pour les femmes* (Cahiers historiques), vol. I, 1948, pp. 245—49.

Encyclopédie de l'Islam (diverse articole).

J. H. PERRON, *La balance de la loi musulmane*, în „L'islamisme".

TAJIR (Jaque), *Harakat at-tarjama bi misr khilal-al-qarn at-tasa ashar. Dar al-ma'arif Misr.*

ZAIDAN (Girgi), *Tārikh adab al-lungha al-arabiya*, vol. IV.

CAPITOLUL VI

Ştiinţa indiană din secolul al XIX-lea pînă în zilele noastre

De la începutul secolului al XIX-lea, India şi-a continuat eforturile pentru a-şi păstra vechile tradiţii ştiinţifice faţă de importul de ştiinţă. Ea a încercat de asemenea şi adoptarea ştiinţei moderne universale în scopul de a şi-o însuşi şi de a participa la progresul ei.

A. ŞTIINŢA TRADIŢIONALĂ

După cum s-a arătat în volumele precedente, vechiul avînt al cercetării ştiinţifice în India a fost, în general, înlocuit printr-un spirit de apărare a patrimoniului de cunoştinţe ştiinţifice, patrimoniu considerat ca un bun propriu esenţial, din momentul în care ştiinţele străine au fost introduse, nu prin schimburi libere, ci ca aport al unor cuceritori. Faţă de ştiinţa importată din Anglia, ştiinţa tradiţională indiană a păstrat adesea o atitudine de rezervă şi chiar de ignorare sistematică, atitudine pe care a adoptat-o şi faţă de ştiinţa arabă şi persană. Unii savanţi indieni au repudiat-o total. Alţii, mai conciliatori şi mai bine informaţi, au studiat, în lumina noilor cunoştinţe, istoria acestei ştiinţe tradiţionale şi au dovedit că ea a pregătit spiritul indian să conceapă legile naturii şi să le interpreteze raţional, făcîndu-l propriu cercetării ştiinţifice moderne şi au cerut abandonarea prejudecăţilor—apărute dealtfel tîrziu—privind infailibilitatea vechilor autori.

Pe de altă parte, ştiinţa tradiţională şi-a păstrat un anumit rol şi se bucură de o influenţă considerabilă în rîndul celor care nu au fost instruiţi decît în spiritul ei. De aici rezultă, mai ales în domeniul medicinei, o rivalitate frecventă a ideilor şi metodelor sale cu cele moderne. Tot din spirit tradiţional se menţine astrologia, sub o formă care foloseşte vechea astronomie şi formulele sale matematice.

MATEMATICA ŞI ASTRONOMIA. Matematica şi astronomia antică şi medievală nu mai sînt studiate în India contemporană ca scop în sine. Ele sînt studiate de istoricii ştiinţei care editează sau reeditează vechile texte, le comentează în sanscrită şi cel mai adesea le traduc şi le explică în limbile moderne ale Indiei sau în engleză.

Dacă în comparaţiile pe care le fac cu ştiinţa din alte ţări ale lumii, istoricii indieni suferă uneori din cauza unei documentări insuficiente, acest fapt nu le este caracteristic numai lor, deoarece şi istoricilor occidentali le lipsesc adesea lucrările şi informaţiile asupra ştiinţei indiene. Trebuie subliniat faptul că, în anumite cercuri, lucrările istorice încearcă să justifice tradiţia şi chiar să preamărească valoarea sa în raport cu ştiinţa modernă.

În sfîrşit, astrologia se menţine încă la mare cinste, continuînd să recurgă la calculele tradiţionale ale vechii astronomii clasice. Cu toate acestea, folosind datele şi calculele astronomiei actuale, astrologia indiană modernă renunţă uneori la metodele vechi sau adoptă datele observatoarelor moderne, pe care le interpretează apoi după metodele tradiţionale. Astrologia indiană nu se menţine deci, decît acceptînd o anumită „aducere la zi“. Ea se susţine prin redactarea şi publicarea a numeroase lucrări în limba sanscrită şi în diverse limbi ale Indiei contemporane, cum ar fi recenta *Jyotishasarvavish ayāmrudam* a lui M. Sundararājācāryar, în limba tamili (1956).

Există unele studii foarte importante de istorie a matematicii şi a astronomiei elaborate în India, în lumina ştiinţei moderne, ca de exemplu *History of Hindu mathematics* de B. Datta şi A.N. Singh (2 vol., Lahore, 1935—1938) şi o istorie a astronomiei (în limba marati) de S.B. Dikshit. Aceste lucrări sînt preţioase pentru cronologie şi în special pentru datarea inscripţiilor şi documentelor de toate tipurile, cum este în special cazul monumentalei lucrări, *An Indian Ehpemeris* de Swamikannu Pillai. Şi alte lucrări, deşi pătrunse de un puternic spirit naţional, au atras atenţia asupra unor probleme delicate de interpretare a unor date astronomice vechi, din nefericire insuficiente prin ele însele. Astfel este cazul unei părţi din studiile lui B.G. Tilak asupra astronomiei vedice, efectuate în paralel cu cercetările similare ale lui H. Jacobi în Germania.

Foarte rudimentară în cadrul ştiinţei tradiţionale, fizica a fost introdusă practic de învăţămîntul european. Ea a fost predată în sanscrită la Benares College, începînd din 1848—1849; fizica a fost reprezentată sub forma filozofiei *Nyāya Vaiseshika* în care este elaborată logica şi iniţiată o analiză a conţinutului naturii, analiză care constituie o schiţare a fizicii.

CHIMIA. Istoria şi interpretarea chimiei antice au constituit obiectul unor importante cercetări ale chimistului P.Ch. Ray (1861—1944). Dealtfel, medicamentele chimice ale farmacopeii tradiţionale sînt folosite pe scară largă. Datorită faptului că acestea sînt preparate de „vindecători“ izolaţi, expuse erorilor în identificarea produselor prescrise de textele tradiţionale, iar substanţele naturale utilizate sînt adesea impure, ele pot fi periculoase mai ales cînd conţin mercur. Folosite însă cu prudenţă nu au nici un efect nociv. Preparate în laboratoare speciale — uneori la scară industrială, ca de pildă la „Rasashala Aushadasram“ din Gondal, în statul Gujerat — acestea, dimpotrivă, pot oferi garanţii de componenţă şi acţiune, în compoziţia a numeroase preparate tonice, capilare, cosmetice etc. Le găsim vîndute direct populaţiei datorită unei reclame susţinute, în magazine specializate şi în pieţe.

MEDICINA AYURVEDICĂ ŞI MEDICINA MODERNĂ. Literatura Āyurveda, la fel ca cea de matematică şi astronomie, este mult cultivată în special datorită aplicaţiilor practice. Ea este studiată de autori izolaţi sau de societăţi şi de şcoli speciale. Publicaţia cea mai importantă din punct de vedere istoric în acest domeniu este *Carakasamhitā*, editată de Shree Hulabkunverba Ayurvedic Society, conţinînd traduceri în hindi, gujarat şi engleză, împreună cu două volume de studii şi de repertoare publicate sub direcţia dr. P.M. Mehta.

Pe lîngă cărţile destinate maselor, sînt editate manuale pentru studenţii numeroaselor colegii medicale ayurvedice care funcţionează alături de colegiile medicale moderne (90 faţă de 60 moderne). Pentru disciplinele de tipul anatomiei care în învăţămîntul vechi erau expuse cu totul insuficient, aceste manuale au introdus date moderne, deşi au păstrat modul de expunere tradiţional în ceea ce priveşte unele părţi ale patologiei, ale terapeuticii sau ale igienei alimentare şi generale.

În colegiile tradiţionale, diagnosticele sînt date cel mai adesea după caracteristicile clinice expuse în textele lui Susruta, Caraka, Vāgbhata şi Mādhava. Indicaţiile terapeutice corespunzătoare sînt extrase din aceleaşi lucrări, precum şi din numeroase alte texte vechi consacrate reţetelor medicale. Analizele simple, şi în special ale urinei, sînt însă adoptate după medicina modernă. Chirurgia are de asemenea un caracter modern.

Alături de medicina ayurvedică, se mai practică şi medicina tradiţională cunoscută sub numele de „Siddha", în care majoritatea reţetelor sînt împrumutate din medicina arabă sau din *Āyurveda*. Medicina arabă însăşi se bucură de mare cinste sub denumirile de *tibbiyā* (în arabă *tibb* înseamnă medicină) şi de *yunānī* („greacă") la musulmani. Ea este predată uneori în aceleaşi colegii ca şi medicina ayurvedică şi are de asemenea mai multe colegii speciale. Practicienii ayurvedici îşi exercită cunoştinţele peste tot: în aglomeraţiile urbane, alături de medicii moderni, şi la sate, unde cel mai adesea sînt singuri. Indiei îi lipsesc însă medicii pentru o importantă parte a populaţiei sale. Această situaţie face ca, în afara partizanilor *Āyurveda*, unele personalităţi indiene să considere că ajutorul medicilor ayurvedici este încă necesar sănătăţii publice, cel puţin pînă la dezvoltarea unei reţele medicale moderne în întreaga ţară. De aici a rezultat ideea că medicina ayurvedică trebuie să fie reglementată în întregime şi că trebuie organizate oficial studii şi cursuri care să permită o mai bună cunoaştere a acesteia şi o practicare utilă şi fără pericol. Dealtfel, este neîndoios faptul că studiul acelor elemente ale medicinei tradiţionale care s-au dovedit valabile ar putea aduce mari servicii, iar studiul aprofundat al efectelor anumitor regimuri dietetice şi tratamente tradiţionale ar putea chiar îmbogăţi medicina modernă: numeroase medicamente indiene au şi fost dealtfel adoptate în terapeutica generală. Pe de altă parte, medicamentele ayurvedice, fiind mai ieftine şi mai uşor de găsit decît produsele farmaceutice recente, sînt singurele accesibile majorităţii populaţiei sărace care, în lipsa acestora, nu ar putea primi îngrijiri medicale.

Pe lîngă aceasta, este valoros şi faptul că condiţiile prescrise de medicina tradiţională pentru recoltarea plantelor şi prelucrarea leacurilor pe bază de plante pot asigura o anumită stabilitate a elementelor active, permiţînd şi o manipulare destul de regulată a dozelor.

Tuturor acestor argumente practice, partizanii unei înlocuiri rapide a medicinei tradiţionale locale cu medicina modernă universală le răspund că recunoaşterea şi organizarea oficială a studiilor ayurvedice ar oferi — şi chiar oferă — o încredere neîndreptăţită în Ayurveda şi ar întîrzia modernizarea generală necesară. Crearea progresivă a numeroase spitale sau dispensare gratuite pune treptat medicina modernă la îndemîna păturilor sărace pentru care medicina ayurvedică, deşi ieftină, nu este însă gratuită.

Cercurile guvernamentale trebuie să facă faţă ambelor tendinţe în lupta dintre medicina tradiţională şi medicina modernă, luptă pe care o întîlnim în numeroase ţări ale Asiei, în care prima se bucură de o mare încredere şi în care nu totdeauna există posibilitatea unei alegeri între cele două.

B. ŞTIINŢA MODERNĂ

În cursul secolului al XIX-lea, politica de educaţie dusă de Compania East India Company, susţinută şi de cercurile conducătoare britanice, a favorizat învăţămîntul elementar de tip englez, dar nu şi cercetarea ştiinţifică. Aceasta a fost inaugurată indepedent la Calcuta încă din 1784 de către Asiatic Society of Bengal, societate care reunea atît membri englezi cît şi membri indieni, al cărei efort, axat în special pe studii asupra problemelor indiene, era orientat atît spre matematică sau fizică, cît şi mai ales spre ştiinţele naturale. Mijloacele de cercetare au fost însă foarte puţin dezvoltate în această colonie, cu excepţia marilor Servicii create pentru inventarierea bogăţiilor ţării, cum sînt Geological Survey, Botanical Survey, Zoological Survey, Survey of India (Serviciul Geografic), Indian Council of Agricultaral Research, creat în 1929 etc. Din această cauză, indienii cu aptitudini pentru ştiinţă nu au putut în general să se ocupe decît de studii istorice asupra ştiinţei vechi, efectuate pe baza rezultatelor ştiinţei moderne, sau de cercetări matematice care nu necesită nici un fel de aparatură. În domeniul matematicii, unii dintre aceştia au adus o contribuţie excepţională, ca S. Ramanujan (1887—1920), mort prematur la Londra. Cu toate acestea, au putut fi puse la punct cu succes diverse experimentări bazate pe metode destul de simple de către savanţi, ca C.V. Raman în fizică şi Jagadish Chandra Bose în biologia vegetală. Experienţele acestuia din urmă au devenit clasice, deşi interpretarea pe care a dat-o el referitoare la existenţa unei „sensibilităţi a plantelor“ a fost pusă sub semnul întrebării. De la începutul secolului al XX-lea au fost puse bazele cîtorva institute de cercetări ca Indian Institute of Science, din Bangalore, în 1909, sau Indian Council of Medical Research, în 1912. Altele, ca Tata Institute for Fundamental Research, la Bombay, și Pasteur Institute, fundat în sudul Indiei la Kunnur (Coonoor) analog Institutului Pasteur din Paris, fără a-i fi însă afiliat au fost create mai tîrziu. În afară de C.V. Raman, și alți fizicieni s-au remarcat înaintea sfîrșitului perioadei de dominație britanică: S.N. Bose care a colaborat cu Einstein în urma descoperirilor sale personale, precum și mulți din cei care conduc astăzi cercetările indiene de fizică experimentală sau de matematică: H.J. Bhabha, M.S. Krishanan etc.

După dobîndirea indepedenței în 1947, India a consacrat mari eforturi înzestrării în vederea cercetării științifice, devenită o problemă națională. În acest scop a fost creat un minister special al Cercetării Științifice și al Relațiilor Culturale. Council of Scientific and Industrial Research supraveghează funcționarea a 25 de laboratoare sau institute naționale de cercetare fundamentală sau aplicativă, majoritatea fiind creații relativ recente. Totalul cheltuielilor acestei instituții a fost, în 1960—1961, de 69 de milioane de rupii indiene.

Dintre acestea, principalele instituții sînt: National Chemical Laboratory (la Poona), National Physical Laboratory (la New Delhi), National Metallurgical Laboratory (la Jamshedpur), Central Electro-Chemical Research Institute (la Karaikudi) și Central Drug Research Institute (la Lakhnau).

În plus, marile instituții publice create sub regimul britanic și-au dezvoltat și ele cercetările lor. A fost creat un Department of Atomic Energy de care depinde Atomic Energy Establishment, de la Trombay (lîngă Bombay), Atomic Minerals Division, Travancore Minerals Ltd. și India Rare Earths Ltd. Cercetarea fundamentală în fizica atomică și în matematică se efectuează la Tata Institute for Fundamental Research. Alte instituții sînt susținute atît prin inițiative particulare, cît și prin subvenții ale guvernului, ca Bose Institute din Calcuta, orientat în special spre cercetări în domeniul biologiei vegetale, Birbal Sahani Institute for Palaeobotany, din Lakhnau, și Physical Research Laboratory, din Ahmedababd, care este un centru de cercetări de fizică a globului pămîntesc. Instituțiile noi de cercetări tehnice sînt și mai numeroase.

Un anumit număr de centre științifice primesc ajutoare străine în aparatură și în personal, iar legăturile lor cu principalele centre mondiale de cercetări sînt foarte largi. Tata Institute for Fundamental Research invită în fiecare an matematicieni și fizicieni din lumea întreagă pentru a participa la lucrări comune. India Council of Agricultural Research colaborează cu Institutul francez de la Pondichery care elaborează harta vegetală a Indiei și întreține un laborator de palinologie. Acest institut a fost creat de Franța în colaborare cu India în 1955, după transferarea administrației vechilor institute franceze, în scopul stabilirii unei colaborări permanente între aceste două țări, în diversele domenii ale științei naturale și ale științelor umane.

BIBLIOGRAFIE

J. R. BALLANTYNE, *A Synopsis of science from the stand-point of the Nyaya philosophy* (sanskrită şi engleză), vol. I, Mirzapore, 1852.

B. DATTA şi A. N. SINGH, *History of Hindu Mathematics*, 2 vol., Lahore, 1935—1938.

L. V. GURJAR, *Ancient Indian Mathematics and Vedha*, Poona, 1947, SWAMIKANNU PILLAI, *An Indian Ephemeris*, 7 vol., Madras.

B. G. TILAK, *The Orion, or Researches into the Antiquity of the Vedas*, Bombay, 1893.

M. SUNDARARĀJĀCĀRYAR, *Jyotishasarvavishayamrudam* (Ambrozie din toate domeniile ştiinţei aştrilor"), Srīrangam, 1956.

P. CH. RÂY, *History of Hindu chemistry*, 2 vol., Calcutta, 1902—1909.

P. RÂY, *History of Chemistry in Ancient and Medieval India, incorporating the History of Hindu Chemistry*, Calcutta 1956; *The Caraka samhitā*... edit. publ... de Shree Gulabkunverba Ayurvedic Society, 6 vol., Jamnagar, 1949.

GANANATH SAN, *Pratyakshashariram, a text-book of human anatomy in sanskrit*, ed. a III-a, Calcutta, 1924.

India 1961. A Reference Annual, compilată de The Research and Reference Division, Ministry of Information and Broadcasting Government of India, Delhi, 1961.

CAPITOLUL VII

Răspîndirea științei în Vietnam, de la cucerire pînă la decolonizare

La sfîrșitul secolului al XIX-lea, în țările din sud-estul Asiei a început să pătrundă treptat influența științei europene. Exemplul particular al Vietnamului ne va permite să evidențiem aspectele esențiale ale acestei pătrunderi. Astfel, în loc să prezentăm un catalog al realizărilor științifice care au văzut lumina zilei în timpul perioadei coloniale, am preferat să insistăm asupra condițiilor tehnice și psihologice în care știința occidentală a pătruns în Vietnam.

CONFLICTUL DINTRE CUNOȘTINȚELE VIETNAMEZE ȘI ȘTIINȚA EUROPEANĂ. Începutul acestei pătrunderi poate fi situat la 1856, cînd a fost bombardat Turanul și cînd au început ostilitățile care au condus la tratatul din 1862 prin care provinciile Bien-Hoa, Gia-Dinh și Finh -Tuong au devenit franceze.

În această perioadă, cultura vietnameză era axată pe pregătirea concursurilor care, ca și în China, permiteau accesul la cariera de mandarin. Arhaic și îngust, programul acestor concursuri nu includeau știința și filozofia naturii; limitat la retorica cea mai formală, acest program face apel mai ales la memorie.

Tripla influență a confucianismului (respectul tradiției și moralei), a taoismului (apologia non-acțiunii, *vô vi*) și a budismului (zădărnicia lucrurilor din această lume) se adaugă acestei formări livrești a spiritelor pentru a minimiza importanța științei și tehnicii în cultura națională.

Dar vietnamezii au fost învinși de trupele franceze, dealtfel puțin numeroase, nu din cauza lipsei lor de curaj, ci din cauza decalajului enorm ce exista între tehnica lor militară și cea a adversarilor lor. Pe plan moral, situația nu era asemănătoare căci, în discuțiile filozofice, superioritatea misionarilor catolici nu le părea zdrobitoare vietnamezilor. Ca atare, se simțea nevoia unei reforme pentru a elimina din cultura națională cea ce era perimat. În schimb, vietnamezii înțelegeau să mențină tot ceea ce se dovedea valabil (literatura, filozofia, religia) și să evite cu orice preț lichidarea integrală a valorilor lor, care ar fi dus la pierderea specificului național. Această dorință de stabilire a unui echilibru între menținerea tradițiilor morale.și dobîndirea progresului material continuă să inspire și pe intelectualii vietnamezi contemporani.

ÎNCEPUTURILE MIȘCĂRII REFORMISTE VIETNAMEZE. Cu mult înainte de invadarea Vietnamului de către occidentali, vietnamezii au încercat să-și întărească puterea tehnică și științifică prin numeroase contacte cu China. Astfel, ambasadorii şi călătorii au jucat un mare rol în evoluţia progresistă a meşteşugurilor naţionale. Unele spirite luminate, ca Hô' Quý Ly în secolul al XV-lea sau Nguyén Trûóng To în secolul al XIX-lea au văzut totuşi mai departe. În urma înfrîngerilor militare ale regimului împăratului Tu Duc (1847—1883), a avut loc o mişcare reformatoare concomitent cu mişcarea de rezistenţă armată. Mişcarea cerea să se introducă în învăţămînt predarea limbilor şi ştiinţelor străine precum şi cererea de burse de studii în străinătate. Acest program a fost comun tuturor mişcărilor naţionale clandestine, ca de exemplu: Asociaţia pentru restaurarea Vietnamului (*Viêt-nam Quang-Phuc Hôi*, prin 1904) a lui Phan Boi-Chau, devenită Şcoala publică a capitalei de Est *(Dong kinh nghîa thuc)*, după 1907.

În 1868, împăratul Tu Doc a încercat să creeze un centru de învăţămînt ştiinţific şi tehnic. Regina-mamă şi înalţii demnitari de la Curte s-au dovedit ostili oricăror inovaţii. Pe de altă parte, continuarea războiului cu Franţa, de la 1858 la 1883, a creat o situaţie puţin favorabilă unei reforme radicale a sistemului de educaţie după modelul european.

În loc să se efectueze în domeniile tehnice şi culturale, această reformă nu putea deci avea loc decît pe plan politic şi moral.

De fapt, exista o diferenţă capitală între concepţia europeană despre instruire şi scopul urmărit în şcolile vietnameze. Aici era vorba mai puţin de a instrui cît de a forma şi de a „înlănţui pentru totdeauna spiritele" (expresia este a împăratului K'ang Hi) în cultul ritualelor, al tradiţiilor şi al legilor imperiului. Mai mult decît oprimarea, educaţia constituia cheie de boltă a sistemului politic sino-vietnamez şi orice modificare a acestei instituţii esenţiale avea consecinţe foarte grave.

REFORMA ÎNVĂŢĂMÎNTULUI ŞI REZULTATELE EI. Metodele educative şi pedagogice au suferit transformări în 1915, în nord şi în 1919, în centrul Vietnamului, concursurile literare şi formalismul lor de rutină[1] fiind suprimate.

În învăţămîntul elementar, elementele franceze şi vietnameze au fost introduse alături de elementele clasice chineze pe care le-au înlocuit apoi treptat. Caracterele demotice (*nôm*) au fost înlocuite printr-o transcriere latinizată *(qúôc-ngū)*, ceea ce a permis reducerea analfabetismului la mici proporţii. Răspîndirea limbii franceze a permis accesul treptat şi la alte limbi europene şi, în consecinţă, şi la realizările ştiinţei europene. Ulterior a fost reorganizat şi învăţămîntul secundar. În 1907 a fost creată la Hanoi o universitate de tip francez, considerabil dezvoltată în 1917. O universitate de acelaşi tip a fost înfiinţată şi la Saigon în 1946. Învăţămîntul a fost completat prin crearea a numeroase burse de studii în străinătate. Cei reîntorşi din străinătate au jucat un rol important în Vietnam, atît pe plan politic cît şi pe plan cultural.

---

[1] După cum rezultă din întregul context, relatarea acestui aspect pozitiv al prezenţei franceze în Vietnam nu este făcută de autor în spiritul apologiei colonialismului. Respectul pentru valorile culturale vietnameze şi pentru eroismul de care a dat dovadă poporul vietnamez în lupta sa de eliberare şi independenţă constituie o dovadă grăitoare în acest sens. — *N.R.*

În sfîrşit, o serie de ziare, reviste, cărţi şi opere de artă au atras tineretul spre cultura europeană şi în special spre ştiinţă.

Această mişcare a pornit de la începutul secolului; mai ales după 1930 a apărut un numeros tineret care se evidenţiază din acest punct de vedere, atît în Vietnam cît şi în Franţa, unde are acces la marile şcoli ştiinţifice şi tehnice.

POPORUL VIETNAMEZ ŞI ŞTIINŢA. Datorită instituţiilor regimului colonial, programul primilor reformatori patrioţi s-a realizat într-un mod destul de diferit faţă de ceea ce se spera. De exemplu, pe plan ştiinţific, cei mai înzestraţi dintre ei se dovedeau egali europenilor, subminînd astfel climatul de dependenţă şi de prestigiu care, alături de forţă, constituia suportul colonialismului. Ideea unei subordonări bazate pe alte valori decît meritul personal păreau insuportabile vietnamezilor, iar emanciparea intelectuală avea drept corolar cucerirea emancipării politice.

De asemenea, paralel cu apariţia presei, se înregistrează publicarea a numeroase traduceri şi adaptări ale vocabularului tehnic occidental.

RĂSPÎNDIREA ŞTIINŢELOR ÎN VIETNAM. În Vietnamul de Sud, trei universităţi (Saigon, Hue, Dalat) îşi împărţeau în mod inegal, pentru o populaţie de 10 milioane de locuitori, 1906 studenţi în medicină şi farmacie şi 3160 în ştiinţe.

În R.D. Vietnam, la Hanoi, universitatea este profilată pe ştiinţele naturii; aici învaţă aproximativ 1500 de studenţi (în 1974). Tot la Hanoi, printre alte şcoli de învăţămînt superior, funcţionează un institut de medicină şi un altul de farmacie.

Fizicieni şi biologi vietnamezi de valoare lucrează în diferite laboratoare de cercetări franceze: C.N.R.S., Orsay, Saclay, Şcoala Normală Superioară etc. Astfel, Nguyên Phuc Buu Hoy, şeful unui colectiv de la Institutul Curie, este cunoscut pentru lucrările sale asupra sulfonelor antileproase, asupra hidrazidelor antituberculoase şi asupra substanţelor cancerigene sau anticancerigene.

În ciuda existenţei unei medicine sino-vietnameze viguroase şi bazate pe lucrări adesea remarcabile, medicina şi farmacia occidentală au cunoscut încă de la apariţia lor progrese rapide. Fiecare civilizaţie are, bineînţeles, o concepţie proprie asupra medicinei. Pătrunderea în Vietnam a metodelor terapeutice străine a atras şi atrage încă după sine reacţii specifice în mentalitatea populară; unele dintre acestea, cu caracter economic, explică faptul că perioada de decolonizare a fost însoţită de o anumită renaştere a terapeuticii tradiţionale, mult mai ieftină.

Dar în ansamblu, şi în special în centrele urbane, această terapeutică a fost înlocuită prin medicina ştiinţifică. Această eliminare se datoreşte laboranţilor, asistenţilor medicali, doctorilor în medicină şi farmaciştilor formaţi în Institutele Pasteur şi în şcolile sau facultăţile de medicină din Hanoi şi Saigon. Sub conducerea lui Alexandre Yersin (1863—1943), celebru prin descoperirea bacilului pestei la Hong Kong (1894), s-a format prima promoţie de medici la Hanoi în 1907. În 1936 a ieşit prima promoţie de doctori în medicină. Învăţămîntul medico-farmaceutic a fost inaugurat la Saigon în 1947, iar după 1962, medicina şi farmacia au fiecare cîte o facultate în timp ce la Hue a fost creată o facultate mixtă (1961).

Vietnamul are legături ştiinţifice cu principalele centre ştiinţifice mondiale. Au fost trimişi în străinătate numeroşi bursieri care, datorită unei bune cunoaşteri a limbii franceze şi engleze, au reuşit să-şi însuşească o temeinică instruire ştiinţifică sau tehnică. Din acest punct de vedere, Vietnamul este una din ţările cu dezvoltarea cea mai remarcabilă din sud-estul Asiei.

BIBLIOGRAFIE

BUU HIEP, *La médecine française dans la vie annamite*, Hanoi, 1936.

DANG NGOC THUAN, *Croyances et pratiques obstétricales traditionalles des Vietnamiens*, Saigon, 1961.

DAO DUY ANH, *Vietnam van hoa su cuong* (Scurt tratat de istorie a civilizaţiei vietnameze), Saigon, 1939.

P. HVARD, M. DURANT, *Connaissance du Vietnam*, Hanoi, 1954 (publications de l'Ecole française d'Extrême Orient).

LE QUI DON, *Kiên van tiêu luc*, 1777.

LE VAN TRIEN, *Les préjugés des Vietnamiens dans la conception de la médecine occidentale*, Hanoi, 1952.

LICH SU THU-DO HA-NOI, *Nhà Yuât ban Su-hoc-Viên Su Hoc* (Istoria capitalei Hanoi), Publications de l'Institut des Études Historiques, Hanoi, 1960.

NGUYEN VAN HUYEN, *La civilisation annamite*, Hanoi, 1944.

NGUYEN VAN NHU, *L'enseignement médical au Vietnam à la croisée des chemins*, Saigon, 1960.

PHAN HUY DAN, *Quelques suggestions sur la réorganisation sanitaire au Vietnam, tirée de son histoire médicale*, Paris, 1949.

PHAN VAN DIEN, *Quelques suggestions sur l'éducation de la masse et sur l'organisation d'un service en matière d'hygiène sociale au Vietnam*, Hanoi, 1953.

THANH-TICH, *Nam nam hoat-dông cua Chinh-phu* (Rezultatul a cinci ani de guvernare), Saigon, 1959.

***, „Bulletin de l'Institut indochinois pour l'Etude de l'homme", Hanoi (Publicaţii ale Institutului Pasteur).

***, Revista „Bach-Khoa", Saigon (apărută după 1956).

CAPITOLUL VIII
Dezvoltarea ştiinţei moderne în extremul orient

PRORGESELE ŞTIINŢEI MODERNE ÎN CHINA (1911—1949). De la revoluţia republicană din 1911 pînă la eliberarea din 1949, ştiinţa modernă va realiza noi progrese în China, în ciuda unor condiţii economice şi politice dificile. Învăţămîntul tradiţional, bazat pe clasicii confucianismului, pe literatura, filozofia şi filologia antică, păleşte acum în faţa învăţămîntului modern care permite introducerea unor materii ştiinţifice din şcoala elementară pînă în universităţi. Marile reviste de cultură generală ca „Tong-fang tsa-tche" (Revista Orientului) publică în mod curent articole de iniţiere în fizică, chimie şi astronomie. În oraşele mari şi în special la Pekin şi la Şanhai, conferinţele de popularizare ştiinţifică atrag un auditoriu tînăr şi entuziast. „Mişcarea din 4 Mai", care a exprimat în 1919, pe plan politic, ostilitatea chinezilor faţă de tratatul de la Versailles (care ceda Japoniei vechile baze germane din China) şi care pe plan literar a reprezentat ofensiva generalizată a limbii populare vorbite împotriva savantei „Limbi scrise", este în acelaşi timp şi o mişcare pentru modernizarea ştiinţifică a Chinei; scrierile polemiştilor din această epocă popularizează pe „Domnul De" şi pe „Domnul Sai", adică democraţia şi ştiinţa (reprezentate în limba chineză prin prima silabă a numelui lor) care încearcă să trezească China din stagnarea ei. Acest avînt spre ştiinţă, care antrenează întreaga intelectualitate modernă chineză, este subliniat de succesul publicaţiilor ştiinţifice moderne, cum ar fi cel al marii edituri din Şanhai, Chang-wu yiu-ciu-kuan (zisă Comercial Press), fundată la începutul secolului, care are sucursale în toate oraşele mari ale Chinei.

Tot în acea perioadă iau fiinţă mai multe mari instituţii de cercetări ştiinţifice. Serviciul geologic al Chinei — creat în 1912 după căderea Imperiului şi condus de excelenţi specialişti formaţi în universităţile din Occident, ca Ting Wen-kiang şi apoi Wong Wen-hao, iniţiază o cartografiere sistematică a resurselor subsolului chinez şi publicarea unei hărţi geologice amănunţite. Academia de Ştiinţe (Academia Sinica) fundată în 1928 la Pekin de guvernul Go-min-dan-ului, al cărui prim preşedinte a fost Tsai Yuan-pei, nu este numai o instituţie savantă ca şi omoloagele sale din ţările accidentale, ci şi un vast organism de cercetări colective care grupează institute specialiazte în principalele ramuri ale ştiinţei moderne. Membrii săi efectuează inventarierea florei şi faunei chineze, studiază fosilele de *Homo pekinensis*, abordează problemele fertilizării solului, publică lucrări de matematică, studiază fenomene astronomice ca, de exemplu, eclipsa solară din 21 decembrie 1941. În 1928 este creat la Pekin un alt organism de cercetare ştiinţifică, Academia Naţională din Pekin, care se preocupă atît de ştiinţele fizice şi naturale cît şi de ştiinţele umanistice şi ale cărei resurse financiare provin din vechea „taxă" (despăgubire) franceză a Boxerilor (despăgubiri la care Franţa a renunţat în favoarea Chinei, cu condiţia de a-şi păstra controlul).

Dar acest avînt relativ al ştiinţei moderne în China, la începutul acestui secol este încă limitat de starea generală a ţării. Prăbuşirea monarhiei „Vechiului Regim" în 1911 nu a dus la o adevărată reînnoire a statului şi a societăţii chineze. Cauzele care se opuneau, în timpul Imperiului, avîntului şi unei mai largi răspîndiri a ştiinţei moderne nu au dispărut complet. Stagnarea generală a economiei chineze a lipsit cercetarea ştiinţifică de puternicul stimulent pe care îl reprezintă cerinţele progresului agricol şi industrial. Fiecare provincie trăia viaţa ei separată, iar enormele regiuni din interiorul Chinei şi ţărănimea nu au urmat evoluţia celor cîteva regiuni privilegiate, ca Şanhai şi Canton, şi celor cîteva pături sociale mai avansate, ca *intelectualitatea* sau burghezia urbană. Răspîndirea ştiinţei moderne rămînea deci închisă în limite strîmte, atît din punct de vedere geografic, cît şi din punct de vedere social; aşa se explică faptul că, în preajma celui de-al doilea război mondial, jumătate din medicii chinezi de formaţie modernă erau concentraţi doar în regiunile Şanhai şi Canton, în timp ce doar un număr infim dintre ei se stabiliseră în afara marilor oraşe. Dealtfel, slăbiciunea politică şi financiară a guvernului central nu a permis adoptarea unei adevărate politici de dezvoltare ştiinţifică şi este semnificativ faptul că ramurile ştiinţelor care nu necesitau decît o aparatură redusă, ca geologia, agronomia, botanica, zoologia descriptivă şi matematica au fost cele mai prospere.

De asemenea trebuie ţinut seama de instabilitatea politică şi de nesiguranţa militară: războaiele civile şi războaiele cu străinii s-au succedat aproape constant în China, de la căderea Imperiului (1912) pînă la proclamarea Republicii Populare Chineze (1949). În special ocupaţia japoneză a obligat univesităţile şi instituţiile ştiinţifice să se retragă de la Şanhai, Nankin şi Pekin la mai multe mii de kilometri pînă la frontierele îndepărtate din sud-vest, unde Go-min-dan-ul a reuşit să mai păstreze cîteva baze: această retragere s-a soldat cu pierderi grele în manuscrise, cărţi, documente şi material ştiinţific, precum şi cu întreruperea cercetărilor iniţiate.

Cu toate aceste condiţii dificile, activitatea savanţilor chinezi s-a menţinut curajos, după cum dovedeşte lista celor 139 de studii trimise în timpul războiului unor reviste ştiinţifice engleze de către Biroul de cooperare ştiinţifică chino-britanică, al cărui animator neobosit a fost J.Needham[1]; pe această listă figurează articole despre cîmpul electromagnetic, despre glanda tiroidă, despre teorema Hardy-Littlewood. În ansamblu însă, aceste centre ştiinţifice retrase în munţii din sud-vest nu puteau pretinde mai mult decît să supravieţuiască; dealtfel în marile oraşe din nord şi din est, ocupate de japonezi, orice activitate ştiinţifică a încetat. Cel de-al doilea război mondial înseamnă deci pentru ştiinţa modernă în China o perioadă de relativă stagnare, în timp ce ţările axei, Statele Unite ale Americii şi Marea Britanie realizau progrese răsunătoare, teoretice şi practice.

---

[1] Acest birou a fost înfiinţat din iniţiativa marii organizaţii culturale britanice British Council şi a Ministerului britanic al Producţiei; rolul său era de a asigura savanţilor şi organismelor ştiinţifice din China neocupată de japonezi un anumit ajutor material şi tehnic (vezi J şi D. Needham, *Science outpost*, Londra, 1948).

VIAŢA ŞTIINŢIFICĂ ÎN CHINA POPULARĂ DUPĂ 1949. După reorganizarea Academiei de Ştiinţe, (Academia Sinica) în 1955, cercetarea ştiinţifică a cunoscut o intensă centralizare şi dezvoltare în diferitele institute subordonate acesteia; la sfîrşitul primului plan cincinal, în 1957, numărul acestor institute era de 51, cu un personal de 5000 de cercetători ştiinţifici. În 1958 existau 848 de instituţii de cercetări ştiinţifice, dintre care 170 pentru ştiinţele fundamentale, 415 pentru aplicaţiile industriale, 134 pentru cercetările aplicate în agronomie, silvicultură, zootehnie şi piscicultură, 101 pentru medicină, farmacie şi igienă; în ansamblu, aceste instituţii cuprindeau 32 500 de cercetători ştiinţifici, dintre care 6000 în cercetarea fundamentală; este adevărat că aceste cifre pentru 1958 se referă nu numai la institutele Academiei de Ştiinţe, ci şi la cele dependente de diferitele ministere sau autorităţi locale, ceea ce dovedeşte că efortul de centralizare iniţiat în 1955 nu dăduse roade în întregime.

Această cercetare ştiinţifică este o cercetare planificată. Astfel, pentru perioada 1955—1957, Academia de Ştiinţe şi-a concentrat întreaga sa activitate asupra a 11 mari teme; utilizarea paşnică a energiei nucleare, problemele siderurgiei, cercetări asupra petrolului şi geologiei sale, precum şi asupra carburanţilor sintetici, seismologia şi construcţiile rezistente la cutremurele de pămînt, utilarea şi punerea în valoare a văilor marilor fluvii, inventarierea resurselor tropicale, delimitarea regiunilor naturale ale Chinei, antibioticele şi polimerii înalţi.

Această concentrare a activităţilor ştiinţifice este însoţită însă de o mare descentralizare; ştiinţa modernă scapă deci din cele cîteva zone privilegiate în care era limitată şi se extinde în toată ţara.

Aşa s-a întîmplat, de exemplu, în cazul prospecţiunilor miniere şi al studiilor geologice, continuate activ în stepele din nord-vest şi în lanţurile muntoase ale Tibetului; o reţea completă de staţiuni meteorologice şi de staţiuni de observaţii hidrologice a fost înfiinţată în toată ţara. Monografiile asupra gheţarilor din munţii Tian-Şan, la frontiera de nord-vest cu Uniunea Sovietică, au fost duse la bun sfîrşit.

Domeniile de activitate ale ştiinţei moderne s-au extins în acelaşi timp cu domeniile efectiv controlate şi administrate de guvernul central.

Există o legătură evidentă între cerinţele planificării economice şi orientarea cercetării ştiinţifice. Alegerea seismologiei drept „subiect important“ răspunde unor necesităţi de dezvoltare industrială în regiuni insuficient cunoscute din acest punct de vedere; majoritatea celorlalte subiecte au un interes direct şi evident pentru politica de dezvoltare economică urmărită de la iniţierea primului plan cincinal din 1952. Dar studiul dărilor de seamă ale Academiilor de

Ştiinţe şi ale publicaţiilor „Acta scientica sinica", redactată în limba engleză şi destinată mai ales specialiştilor străini, dovedeşte că cercetarea fundamentală, ca de exemplu în fizică şi în matematică, nu este de loc neglijată. Printre marile personalităţi ale cercetării fundamentale contemporane, pot fi citaţi matematicianul Hua Lo-keng, fizicianul Tsien Hiue-sen, biologii şi medicii Cion Wei-lan şi Cian Hiao-ţien. O strînsă colaborare s-a stabilit între această tînără generaţie şi personalităţi, ca geologii Li Seu-kuan şi Won Wen-hao, sau meteorologul Ciu Ko-cen, care s-au alăturat regimului popular după ce au reprezentat ştiinţa modernă chineză şi sub regimul precedent.

Viaţa ştiinţifică chineză este marcată de asemenea şi de extinderea răspîndirii sale sociale. Prin cărţi, filme, conferinţe şi expoziţii, milioane de ţărani al căror orizont intelectual se limita pînă acum la regulile superstiţioase ale geomanciei *feng-ciuei* (regulile „vîntului şi apei") se familiarizează cu noţiunile raţionale moderne referitoare la lumea materială şi la fiinţele vii. Statisticile publicaţiilor ştiinţifice chineze după 1949 sînt interesante din acest punct de vedere, chiar dacă autorii lor au omis să deosebească lucrările fundamentale de cele de popularizare (fig. 34).

Nr. de lucrări publicate	*1949*	*1950*	*1951*	*1952*	*1953*	*1954*	*1955*	*1956*	*1957*	*1958*
Ştiinţe naturale (în general)	—	—	12	7	1	9	22	17	19	109
Matematică	5	7	35	33	84	80	108	109	146	157
Astronomie	1	—	13	10	20	12	26	35	36	36
Fizică	6	9	14	26	38	46	80	79	110	159
Chimie	3	8	13	26	36	53	56	68	91	112
Geologie	—	4	8	18	53	135	93	155	203	286
Biologie	7	9	8	11	19	24	46	42	49	65
Botanică	1	5	5	7	25	33	59	42	63	92
Zoologie	—	2	5	4	11	24	24	17	35	39
Geografie	2	10	22	24	108	100	173	230	229	181
Medicină	5	30	135	178	204	300	389	552	634	930
Agronomie, Zootehnie	6	90	176	179	273	410	462	1277	994	2375

FIG. 34. STATISTICA PUBLICAŢIILOR ŞTIINŢIFICE CHINEZE (1949—1958).

După sosirea iezuiţilor în China la sfîrşitul secolului al XVI-lea, ştiinţa modernă a fost introdusă în această ţară printr-un proces strict extern, prin intermediul savanţilor europeni şi al savanţilor chinezi formaţi în instituţiile lor; această ştiinţă de origine europeană a ignorat cu totul cunoştinţele tradiţionale chineze, la fel după cum burghezia modernă şi noua *intelectualitate* din oraşe ignoră condiţiile de viaţă şi problemele celor de la ţară. Dimpotrivă, una din originalităţile vieţii ştiinţifice în China populară este încercarea unei sinteze între cunoştinţele tradiţionale şi ştiinţa modernă, în cazurile în care această experienţă merită să fie efectuată.

Exemplul cel mai caracteristic este cel al medicinii. Sub regimul precedent, medicina tradiţională era oficial interzisă şi pasibilă de pedepse; în 1949 existau însă peste 350 000 de medici tradiţionali în activitate, faţă de numai 20 000 de medici de formaţie modernă. Pentru a profita de capitalul uman cît şi de elementele valoroase existente în vechile metode chineze (acupunctura, moxibustia etc.) au fost înfiinţate institute de medicină tradiţională, cu caracter oficial, în diferite oraşe; în acestea se predă atît medicina tradiţională cît şi anumite elemente necesare de medicină modernă, iar respectivele cursuri sînt urmate şi de medici tradiţionali. În acelaşi timp se efectuează inventarul extrem de bogatei farmacopee chineze şi se studiază valoarea vechilor metode (examinarea pulsului, acupunctura etc.) în lumina teoriilor moderne ale activităţii nervoase şi în special a teoriilor pavloviene.

Ştiinţa chineză contemporană nu a rupt total cu trecutul. Este mai mult decît un simbol faptul că serviciile Biroului meteorologic din Pekin se găsesc încă instalate într-un cartier pitoresc al oraşului vechi, în apropiere de Poarta Consolidării naţionale (Kien-kuo-men), exact pe locul Zidului Pekinului, unde încă din secolul al XIII-lea astronomii musulmani ai împăraţilor mongoli au practicat o astronomie cantitativă de poziţie — cea mai avansată în epoca lor — şi unde au lucrat în secolele XVII—XVIII, Matteo Ricci şi urmaşii săi.

Ştiinţa chineză are însă în acelaşi timp şi tendinţa de a se integra în viaţa ştiinţifică modernă. Savanţii chinezi participă la numeroase congrese ştiinţifice internaţionale. Deşi China nu a participat la Anul Geofizic Internaţional, totuşi o activitate considerabilă s-a desfăşurat cu această ocazie în ţară; la Pekin a fost inaugurat un mare planetariu, iar 93 de staţiuni, răspîndite în toată ţara, pînă şi pe platoul Tibet, au efectuat observaţii asupra activităţii solare, geomagnetismului, sateliţilor artificiali etc.

Scrierea ideografică chineză nu a reprezentat totuşi un factor favorabil strîngerii legăturilor ştiinţifice dintre China şi ţările străine. Ea nu a uşurat nici folosirea cercetărilor originale chineze de către străini şi nici studiul cercetărilor occidentale de către specialiştii chinezi. Tendinţa actuală în China este de a prezenta în limbile engleză sau rusă rezultatele revistelor ştiinţifice şi chiar de a publica anumite reviste în limba engleză, ca „Scientia sinica" sau „China medical Journal". Adoptarea drept scriere secundară, a alfabetului latin, după sistemul de transformare fonetică numit *pin-yin*, reprezintă un pas important în această direcţie; printre avantajele acestui proiect, comentariile oficiale publicate în 1958 menţionează posibilitatea pentru chinezi de a transcrie direct termenii ştiinţifici şi tehnici, în loc să se fabrice neîncetat noi ideograme sau combinaţii de ideograme.

ŞTIINŢA JAPONEZĂ ÎN SECOLUL AL XX-lea. Evoluţia iniţiată după revoluţia Meiji şi din ultimele decenii ale secolului al XIX-lea a continuat fără piedici şi în secolul al XX-lea, fără dificultăţile pe care le întîlnea China în aceeaşi perioadă în răspîndirea ştiinţei moderne; avem deci posibilitatea unei expuneri mai scurte în acest caz.

Încă de la începutul secolului nostru, participarea japoneză la viaţa ştiinţifică internaţională a fost foarte activă, după cum o dovedeşte celebra „afacere Kimura".

Hisashi Kimura a fost un astronom japonez care avea sarcina de a efectua în ţara sa observaţii asupra variaţiilor axei terestre în cadrul unor lucrări întreprinse simultan la scară internaţională. Rezultatele pe care le-a găsit se deosebeau într-o oarecare măsură de cele date de formula simplă stabilită de colegii săi din Occident şi mulţi s-au mulţumit să explice această diferenţă prin „tehnica inferioară" de care dispuneau atunci observatoarele japoneze. Kimura a refăcut însă calculele şi a reuşit să stabilească existenţa unui „termen *Z*", care confirma propriile sale observaţii; examinînd mai amănunţit problema, astronomii europeni au putut verifica realitatea acestui termen empiric care le scăpase.

Această întîmplare, căreia i s-a făcut o foarte mare publicitate, din motive evidente de prestigiu naţional, a marcat maturitatea deplină a ştiinţei japoneze.

Între cele două războaie mondiale, savanţii japonezi au luat parte din ce în ce mai activ la majoritatea marilor congrese ştiinţifice internaţionale şi în special la cele ale Panpacific Science Association, care grupează savanţii din toate ţările riverane Oceanului Pacific; congresul din 1926, care a avut loc la Tokio, a prilejuit pentru prima dată în Japonia realizarea unei mari reuniuni de oameni de ştiinţă străini. Pe de altă parte, cel de-al doilea război mondial a constituit pentru ştiinţa japoneză o perioadă de progres, nu de stagnare. Ca şi în Germania şi pentru motive asemănătoare, acele ramuri ale ştiinţei care puteau servi în modul cel mai direct operaţiile militare şi economice de război au cunoscut progrese considerabile, ca de exemplu optica (pentru războiul aeronaval) şi chimia carburanţilor, a fibrelor textile, a cauciucurilor şi a produselor alimentare.

Schimburile ştiinţifice dintre Japonia şi ţările străine au fost reluate fără restricţii după 1945, iar congresele internaţionale sînt organizate din ce în ce mai frecvent chiar în Japonia, ca în cazul Congresului internaţional de fizică (Kyoto, 1953) sau de oftalmologie (Gifu, 1957). De asemenea cele mai înalte distincţii internaţionale au recompensat cercetările de fizică nucleară ale profesorului H. Yukawa, laureat al Premiului Nobel în 1949 şi director al primului reactor nuclear japonez de la Tokay-mura, sau cercetările matematice ale lui K.Kodaira, laureat al Premiului Field în 1954. Faptul că în 1945, Hiroshima şi Nagasaki au avut tristul „privilegiu" de a servi drept cîmp de experimentare a unor arme de distrugere în masă explică dealtfel recentul avînt al cercetărilor de biologie şi de medicină, referitoare la influenţa radiaţiilor nucleare asupra organismului omenesc.

Ca şi colegii lor chinezi, savanţii japonezi au întîlnit obstacolele limbii şi scrierii în domeniul schimburilor ştiinţifice internaţionale. Şi ei le-au depăşit tot prin publicarea de reviste în limbi occidentale, ca de exemplu în domeniile fizicii şi chimiei, sau prin adăugarea de rezumate analitice în limba engleză în publicaţiile lor japoneze.

Participarea japoneză la Anul Geofizic Internaţional, care s-a remarcat prin trimiterea unei expediţii în Antarctica, prin măsurarea radioactivităţii straturilor superioare ale atmosferei şi prin numeroase alte observaţii, permite încheierea acestui studiu asupra ştiinţei japoneze, considerată ca un curent autonom al gîndirii ştiinţifice mondiale. Urmaşii marilor matematicieni japonezi de odinioară, ca Seki Kowa, ai marilor astronomi din epoca Tokugawa, ca Nakane Genkei, sînt astăzi deplin şi în mod activ integraţi în ştiinţa universală şi nimic nu ne mai permite a-i izola.

BIBLIOGRAFIE

Pe lîngă indicaţiile bibliografice prezentate la sfîrşitul capitolului consacrat Extremului Orient din vol. III al Istoriei generale a ştiinţelor. (p. 674), vom mai semnala:

J. NEEDHAM, *Chinese Science*, Londra, 1945.
J. şi D. NEEDHAM, *Science Outpost, Papers of the Sinobritish Science Cooperation Bureau*, 1942—1946, Londra, 1948.
*** „Academia sinica“, 1928—1938.
*** *List of publications of the National Academy of Pekin*, Pekin, 1948.
*** *Kuo-li ciong-yong yen-kieu-yuan kay-kuang* (Situaţia generală a activităţii Academiei naţionale centrale), Pekin, 1948 (cu un indice al publicaţiilor principalilor colaboratori).
*** „Scientia sinica“, Pekin, după 1949.
*** „Chinese Medical Journal“, Pekin.

Menţionăm şi o serie de publicaţii americane, privind activitatea ştiinţifică în China populară:

S—H. GOULD (ed.), *Science in Comunist China*, Washington, 1961.
L. A. ORLEANS, *Professionnal Manpower and Education in Communist China*, Washington, 1961.
C. NUNN, *Chiness Publishing Statistics, 1949—1959*, Ann Arbor, 1960.

CAPITOLUL IX

Organizaţiile ştiinţifice internaţionale

Viaţa ştiinţifică internaţională nu este o invenţie a secolului al XX-lea. Încă din antichitate, ştiinţa circula prin schimburi de scrisori şi de mesaje, era transmisă oral cu ocazia vizitelor şi călătoriilor savanţilor şi eruditilor. Apoi, mai ales în cursul ultimului secol, o serie de publicaţii ştiinţifice, mai mult sau mai puţin periodice, au furnizat un mijloc mai puţin personal dar mai eficace pentru a permite circulaţia ideilor peste hotare. Multe din aceste publicaţii se bazau şi se bazează şi acum pe grupări de savanţi la scară locală sau naţională, pe societăţi savante, asociaţii şi academii. Prin admiterea de membri străini, unele dintre aceste grupări au iniţiat deja mişcarea care avea să conducă la asociaţiile internaţionale.

Dacă comunicările dintre savanţii din diferite ţări au fost totdeauna şi în mod evident necesare, organizarea de cercetări în comun care să angajeze laboratoare sau şcoli ştiinţifice situate în regiuni diferite ale lumii, în activităţi ştiinţifice colective, nu a început în mod real decît la începutul secolului trecut cînd s-a stabilit elaborarea Hărţii generale a cerului de către un anumit număr de observatoare. Este destul de semnificativ faptul că astronomia — care are poate cele mai vechi titluri de nobleţe dintre domeniile ştiinţifice — a fost prima care a devenit în mod hotărît internaţională şi a rămas de atunci, împreună cu geofizica, în fruntea mişcării internaţionale. În cursul secolului al XIX-lea au apărut diverse asociaţii internaţionale care s-au extins şi la alte ştiinţe, cu programe axate în special pe organizarea de congrese, dar şi cu sarcini precise de unificare a unităţilor, simbolurilor, denumirilor şi metodelor de măsură. De altfel, deveneau din ce în ce mai necesare cooperări internaţionale în aceste domenii în vederea continuării înţelegerii reciproce şi a posibilităţii de a utiliza rezultatele cercetărilor celorlalţi. Organismele create cu această ocazie au fost denumite în general uniuni internaţionale şi ele şi-au extins competenţa asupra cîte unei mari ramuri ştiinţifice. Unele dintre ele au patronat publicarea unor reviste de specialitate. Aceste uniuni nu au nici intenţia şi nici mijloacele de a realiza cercetări proprii; ele sînt mai mult organisme de legătură.

ÎNFIINŢAREA ŞI ACTIVITATEA CONSILIULUI INTERNAŢIONAL AL UNIUNILOR ŞTIINŢIFICE. O primă încercare de coordonare a activităţii acestor diferite organisme, apărute din iniţiativa unor personalităţi sau a unor societăţi savante foarte diverse, a fost inițiată la începutul secolului nostru, de o asociație internațională care cuprindea un număr destul de mare de Academii din diverse țări. Dar structura acestei asociații nu permitea deloc realizarea unei astfel de coordonări, datorită statutelor foarte diferite ale Academiilor și chiar numărului lor variabil în cadrul diverselor națiuni, pe care puteau pretinde a le reprezenta. După primul război mondial, a fost făcută o nouă încercare care a condus la crearea Consiliului Internațional al Cercetărilor Științifice, C.I.C.S., care avea un program destul de ambițios. El își propunea coordonarea activității internaționale în ramurile științifice reprezentate de asociațiile existente și determinarea creării unor noi uniuni destinate celorlalte ramuri științifice ce nu erau încă reprezentate. Pe lîngă aceasta, pentru prima dată s-a pus problema influențării guvernelor țărilor membre ale Consiliului pentru a obține noi impulsuri în acele domenii de cercetare insuficient dezvoltate. Consiliul Cercetărilor Științifice, a cărui structură era poate prea centralizată, a trebuit să sufere curînd o modificare profundă și să ia în 1931 denumirea de Consiliul Internațional al Uniunilor Științifice (I.C.S.U.), marcînd astfel dorința uniunilor participante de a păstra o mai mare independență în acțiunile lor. Actualmente, Consiliul grupează opt uniuni, denumite generale, a căror activitate acoperă ramuri întregi ale științei, ca: astronomia, fizica, matematica, chimia, geodezia și geofizica, științele biologice, științele geologice, precum și alte șase uniuni, denumite specializate — ca de exemplu: Uniunea de Cristalografie — cu instituțiile reprezentative ale statelor participante.

Reunirea în Adunări generale a două categorii de delegați — cei care reprezintă țările membre sau mai de grabă organizațiile științifice corespunzătoare din țările aderente (academii, consilii de cercetare etc.) și cei care reprezintă uniunile membre — poate apărea destul de puțin omogenă, dar ea dă în general rezultate bune. În orice caz, activitatea uniunilor s-a amplificat considerabil în cursul ultimei jumătăți de secol, în mare parte datorită unor ajutoare foarte substanțiale acordate de U.N.E.S.C.O., de la crearea sa. Congresele și simpozioanele organizate de uniuni sînt foarte numeroase, iar comisiile respective foarte active. Dar, pe lîngă acțiunile acestor Uniuni, Consiliul însuși a organizat Comisii mixte și comitete speciale pentru abordarea unor probleme speciale care să intereseze mai multe Uniuni. În acest mod au luat naștere Comitetele speciale de Oceanografie (S.C.O.R.), de Cercetări Antarctice (S.C.A.R.), de Cercetări spațiale (C.O.S.P.A.R.) și Comitetul special al Anului Geofizic Internațional (C.S.A.G.I.) în timpul cercetărilor corespunzătoare. Alte inițiative ale Consiliului, cum ar fi crearea Federației Serviciilor de Astronomie și de Geofizică, s-au dovedit foarte eficace în ușurarea concentrării eforturilor naționale și internaționale.

Exemplul dat de Consiliul Uniunilor n-a întîrziat să fie urmat, sub patronajul unor agenții specializate ale Națiunilor Unite și în special ale U.N.E.S.C.O., prin crearea altor mari grupări internaționale neguvernamentale. Astfel, Consiliul Internațional al Organizațiilor de Științe Medicale (C.I.O.M.S.) reunește mai multe zeci de societăți internaționale din acest domeniu. Uniunea Asociațiilor Tehnice Internaționale (U.A.T.I.) joacă același rol în domeniul științelor tehnice. În sfîrșit, Uniunea pentru Protecția Resurselor Naturale grupează organizațiile destinate protecției naturii, care încearcă de mult timp să împiedice jaful și distrugerea resurselor biologice și minerale ale globului pămîntesc.

Aceste eforturi internaționale, plasate sub semnul independenței față de guvernele naționale, nu se pot totuși desfășura datorită subvențiilor provenite mai mult sau mai puțin direct de la aceste guverne, fie prin intermediul U.N.E.S.C.O. sau Organizației Mondiale a Sănătății (O.M.S.), fie prin cel al organismelor corespunzătoare din țările participante, cum ar fi Academiile. De asemenea, ele nu-și pot atinge pe deplin scopul decît dacă acțiunea lor este cunoscută, apreciată și susținută de majoritatea savanților și cercetătorilor care contribuie la progresul științei în țările respective. În această direcție, marele succes al Anului Geofizic Internațional a îmbunătățit considerabil o situație care nu este totuși încă cu totul satisfăcătoare.

EFORTURILE INTERGUVERNAMENTALE. Un alt tip de organizare, în care guvernele intervin direct în finanțarea și conducerea cercetărilor științifice, a cunoscut după cel de-al doilea război mondial un avînt mai tardiv, dar din multe puncte de vedere complementar celui al organizațiilor științifice neguvernamentale. De mai bine de un secol existau organisme create prin acorduri diplomatice internaționale, ca Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți (1873), dar în acest caz era vorba de instituții destinate a servi drept foruri de întîlnire pentru discutarea unor probleme majore referitoare la etaloanele științifice și la necesitățile de păstrare a acestora, precum și la elaborarea unor acorduri internaționale noi, ca în cazul telecomunicațiilor. Problema creării de organisme interguvernamentale consacrate cercetării științifice propriu-zise nu s-a pus de fapt decît în 1946, la Națiunile Unite, cînd s-a votat acolo o rezoluție care îl invita pe secretarul general să inițieze o vastă anchetă cu privire la această problemă. Fără a intra în amănuntele numeroaselor dificultăți întîlnite de cei ce s-au dedicat acestei probleme înainte de a obține rezultate, astăzi se poate afirma că a fost dovedită nu numai posibilitatea creării unor instituții de cercetări interguvernamentale, ci și eficacitatea pe care o pot obține în promovarea științei. Majoritatea organismelor ce corespund acestei definiții sînt regionale, adică statele pe care le grupează sînt apropiate geografic unele de altele ca: Institutul Unificat de Cercetări Nucleare de la Dubna (I.U.C.N.), Centrul European de Cercetări Nucleare (C.E.R.N.), de Cercetări Spațiale (E.S.R.O.) etc., ceea ce prezintă avantaje evidente pentru cercetarea în comun. Totuși nici forma mondială nu este exclusă, după cum o dovedește crearea Centrului Internațional de Calcul de la Roma.

Trebuie de asemenea citate laboratoarele și institutele de cercetări create de diverse organisme interguvernamentale, a căror misiune inițială nu le conduce explicit la astfel de acțiuni, cum este cazul Agenției Internaționale pentru Energia Atomică (A.I.E.A.), sau a Organizației de Cooperare pentru Dezvoltarea Economică (O.C.D.E.). În realitate, după aceste realizări inițiale, este probabil ca cercetările științifice, concepute sub forma colaborării între state sau între marile organizații internaționale, să aibă în fața lor un viitor strălucit. Condițiile cele mai favorabile unor astfel de realizări au fost clar evidenţiate de o comisie a U.N.E.S.C.O.: printre ele se numără în primul rînd nivelul efortului financiar necesar construirii instalaţiilor tehnico-ştiinţifice impuse de cercetare; exemplul marelui accelerator de particule de la C.E.R.N. ilustrează în mod perfect această afirmaţie. Apoi caracterul foarte general al anumitor cercetări care fiind internaţionale prin însăşi natura lor impun eforturi colective: cartarea (harta) cerului, oceanografia, cercetările spaţiale. În sfîrşit, caracterul urgent al unor acţiuni ştiinţifice care interesează în mod evident toate naţiunile trebuie să conducă la unirea eforturilor pe plan mondial. Printre avantajele ce se pot aştepta de la aceste cercetări colective, se citează crearea unui spirit de cooperare internaţională pentru care ştiinţa reprezintă poate terenul cel mai favorabil şi asocierea unor naţiuni rămase în urmă în dezvoltarea lor cu cele care beneficiază de o tradiţie ştiinţifică mai mare.

Din examinarea de ansamblu a acestei treceri în revistă, care rămîne totuşi foarte incompletă, se degajă o impresie de abundenţă, dar şi una de lipsă de legătură, care are o bază reală. Din diverse direcţii, sînt scoase în evidenţă pericolele suprapunerilor şi paralelismelor, ale concurenţelor, ale neglijării unor subiecte foarte importante, datorită numărului mare al autorităţilor sub a căror egidă se realizează aceste activităţi. Evident că selecţia prin supravieţuirea celui mai capabil s-ar putea aplica şi la aceste organisme ca şi la organismele vii, dar acestea ar conduce la o imensă risipă de resurse, ca şi cea care a însoţit evoluţia naturală a speciilor vii. Un efort inteligent şi coordonat va fi mai demn pentru noi.

Postfață

„Din examinarea de ansamblu a acestei treceri în revistă, care rămîne, totuși, foarte incompletă, se degajă o impresie de abundență, dar și una de lipsă de legătură, care are o bază reală".

Aplicată vieții științifice a epocii moderne, această reflecție a lui R.Taton reculează, cu involuntar umor, asupra celei de-a șasea părți a lucrării sale.

În fața lumii de azi, atît de orgolios conștientă de sine, pe de-o parte, atît de contradictorie în fapte și atitudini, pe de altă parte, misiunea cronicarului nu este din cele mai ușoare. Justa selecție a evenimentelor ținute să dea cadrul și atmosfera epocii, ponderarea corectă a semnificației lor sînt operații de conștiință, în același timp decisive și delicate, care decurg dintr-o implicită ierarhie a valorilor. La rîndul ei, aceasta este produsul unui ethos și al unei ideologii — eflorescențe ale unor infrastructuri implacabile care, se știe, nu evoluează prin consens, ci prin înfruntare. Această dialectică elementară face, adesea, dintr-o cronică un document partizan, față de care cititorul își va spune mereu, cu oarecare iritare, că istoriile valabile sînt numai cele ce privesc fapte demult trecute și decantate.

Anticipînd o asemenea reacție, R.Taton încearcă, în această ultimă secțiune a cărții, o formulă eclectică de rectitudine profesională: el folosește o întinsă bibliografie, aplicînd fiecărei zone de interes referințe provenite, în cea mai mare parte, dinlăuntrul zonei, preluate adesea în spiritul veritabil al textelor.

Așa cum cititorul a sesizat, desigur, formula are meritele și dezavantajele ei. Ea satisface, cu siguranță, în bună parte, opinia critică din fiecare zonă, care va recunoaște în autor un amabil mesager al năzuințelor ei. Pe de altă parte însă, deoarece autorul, din pur reflex profesional, nu poate abdica total de la propriul său spirit critic, el exercită asupra stărilor de lucruri înfățișate un sistem de aprecieri pentru care își asumă riscul dezaprobărilor. Fără să ignorăm dificultățile pe care le-a întîmpinat, sîntem, totuși, nevoiți să-i reproșăm lui R.Taton insuficiența efortului de asimilare a referințelor, de armonizare și de sinteză critică a diversității de opinii cu care a fost confruntat în alcătuirea acestui capitol, în special a pasajelor dedicate Americii Latine, lumii arabe, subcontinentului indian, Extremului Orient.

Structura părții a șasea ridică o problemă, deloc banală, privind împărțirea lumii în zone de interes pentru o cronică a vieții științifice. Recunoscînd în opțiunea lui R.Taton un criteriu geopolitic, nu putem să nu semnalăm și convergența ei cu propunerea blagiană a orizonturilor stilistice. Circumspecți față de ambele criterii, dar deschiși ipotezelor, mărturisim că am fi simțit, în text, nevoia unui eseu minimal privind filozofia acestei împărțiri. Cu atît mai mult cu cît, crezînd ferm în egala vocație pentru creație a tuturor națiunilor, mari și mici, rămînem surprinși de ușurința cu care autorul expediază, într-o notă, secțiuni importante ale gîndirii științifice și geniului tehnic dezvoltat de-alungul frămîntatei istorii moderne a popoarelor din răsăritul Europei.

Dealtfel, lectura întregului capitol ne lasă cu o nostalgie majoră: un autor de rigoarea, erudiția și puterea de expresie a lui R.Taton ne datora o dezvăluire mult mai lămuritoare și mai pregnantă a *spiritului veacului nostru.* Proiectat într-un material informativ dens și semnificativ, cititorul rămîne, totuși, frustrat de fascinația severă pe care o exercită, întotdeauna, evocarea unor fenomene definitorii pentru condiția modernă a științei: decizia umanității de a-și adjudeca stăpînirea realului pe datele sale pozitive, măsurabile, indubitabile, și regresiunea religiilor; pătrunderea spectaculară a științei și tehnologiei în spațiul socio-politic, transformarea lor treptată în forțe de producție cu rol de căpătîi în progresul material și spiritual al lumii; înaintarea trudnică a intelectualității spre o condiție socială superioară, angajată; drama științei postbelice din unele țări dezvoltate, știință silită de propriile-i succese, unele funeste, să devină oraculară și autoritară; noile raporturi ale științei cu masele, fenomenele-limită ale misticii științei și ale crizei de încredere în știință, estompate din ce în ce mai hotărît în zilele noastre de democratizarea ei progresivă; tribulațiile politicii și eticii științei între mitul prometeic și cel al ucenicului vrăjitor; într-un cuvînt, cîteva din semnele trecerii în istorie a științei, între o revoluție industrială primitivă și eroică și revoluția tehnico-științifică contemporană, așa cum o cunoaștem.

Așa cum este scrisă, partea a șasea a lucrării lui R.Taton întregește decent o lucrare ambițioasă, meritorie, pe care cititorul din țara noastră o va situa, fără îndoială, pe un loc privilegiat în ierarhia lecturilor sale memorabile.

DAN VAMANU

Indice de nume[1]

ABABEI, V.: 448
ABATICI: 865
ABBE, Ernst (1840—1905): 209
ABBOT, Charles-G. (n. 1872): 524
ABBOTT, Maude E.S. (1869—1940): 860
ABEL, John Jacob (1857—1938): 850
ABEL, Niels Henrik (1802—29): 61, 62, 78
ABEL, O.: 680
ABELE: 320
ABELSON, Philip: 421
ABRAGAM, A.: 251, 253
ABRAHAM, Henri (1868—1943): 267, 268
ABRAHAM, Max (1875—1922): 257
ABRAMI, Pierre (n. 1879): 858
Academia sinica: 968, 970, 971
Academia de Științe a U.R.S.S.: 521, 933, 934
ADAM, Neil Kensigton: 408
ADAM, Miss: 180
ADAM: 693
ADAM: 846
ADAMSON, D.W.: 906
ADAMS, Charles C.: 592
ADAMS, Clarence R. (n. 1898): 34
ADAMS, Robert (1791—1875): 846
ADAMS, Walter Sidney (1876—1956): 541, 544, 545, 567
ADDIS: 835, 863, 864
ADDISON: 656
Adelsberg: 699
ADKINS, Homer B. (n. 1892): 428
ADLER, Alfred (1870—1937): 876, 897
ADLER: 306, 317
ADRIAN, Edgar-Douglas (n. 1889): 210, 667, 668, 830, 831
ADSON: 914
AERTRYCKE: 880
AFANASIEVA: 467
AFFKINE: 891
Africa: 463, 511, 512, 680, 699, 700, 743, 747, 749, 750, 783, 795, 924
— centrală: 739
— de Nord: 749, 750
— occidentală: 796, 800
— orientală: 750, 795
— de Sud: 511, 522, 678, 739, 747, 795
— tropicală: 795
AGÂRBICEANU, I: (1907—1971): 227
AGARDH, Carl Adolf: 806, 807, 809
Agenția Atomică Internațională: 977
AGGELER: 650
AGMON: 60
AGOSTINO, d': 345
AGOTE, Luis (n. 1869): 902
AGREN, Gunnar (n. 1907): 652
AGUIAR: 891
AHLFORS, Lars: 55, 57, 63
Amhedabad: 962
AHRENS, L.H.: 507
Aigoual, muntele: 796
AIKEN, Howard H. (n. 1900): 112
AIRY, Sir George Biddell (1801—92): 458, 462
AKERLUND: 824
ALAJOUANINE, Théophile (n. 1890): 831
Alaska: 752
Albany (U.S.A.): 527
ALBARRAN Y DOMINGUEZ, Joaquin (1860—1912): 828, 862
ALBAUM, H.C.: 765
ALBRIGHT, Fuller (n. 1900): 837, 850
ALDER, Kurt (1902—58): 428
ALDRICH, Thomas Bell (1861—?): 850
ALEKSEREV, N.: 278
ALEXA, G.V.: 448

---

1) Numele de persoane sînt scrise cu CAPITALUȚE, denumirile geografice și de instituții, cu litere de rînd. În cazul în care datele de naștere și de deces ale unei persoane nu au putut fi precizate, este indicată data medie a activității sale, precedată de abrevierea fl. (flormit).

ALEXANDER, George Lionel: 655
ALEXANDER: 33, 90, 131
ALEXANDER: 835, 859
ALEXANDERSON: 307
Alexandria: 954
ALEXANDROV, Pavel S. (n. 1896): 30, 90, 131, 936
ALEXANDROV, A.D.: 91
ALFVÉN, H.: 311, 315, 582, 602
Alger: 749
Algeria: 745, 748, 953
ALGYAN, A.: 119
ALIMEN, Henriette: 751
ALLARD, Georges: 196, 403
ALLEE, W.C.: 706
ALEMBERT, Jean Le ROND D' (1717—83): 106
ALLEN, C.E.: 815
ALLEN, Edgar (1892—1943): 661, 854
ALLEN, James F. (n. 1912): 467
ALLEN, M.B. : 774
ALLEN, Miss R.F.: 812
ALLEN, Willard Myron (n. 1904): 661, 836, 854
ALLEN: 233
ALLEN: 690
ALLEN: 909, 912
ALLER, L.H. (n. 1913): 578, 582
ALLIS, W.P.: 316
ALLISON, F.E.: 807
ALMAȘI, Lucreţia: 449
ALLOITEAU, J.J.: 822
ALLORGE, Pierre (1881—1944): 807
ALMEIDOLINA: 914
ALMEN, B.: 64
ALMQUIST, H.J. (n. 1903): 846
Alpi: 743
ALPHIER, R. (n. 1921): 580
ALTSCHULER: 250
ALTUM, Bernhard (1824—1900): 706
ALVAREZ, Luis Walter (n. 1901): 652
ALVAREZ, Walter, Clement (n. 1884): 252, 348, 364, 374
ALWATER, R.M.: 879
AMBARD, Léo (n. 1876): 652, 835, 862
AMBARTUMIAN, Victor A. (n. 1908): 576, 579, 581, 936
AMEGHINO, Florentino (1853—1911): 751, 951
AMELINCKS, S.: 482
Asociaţia Americană pentru Progresul Ştiinţei: 938
— Societatea Astronomică: 571
— Muzeul de Istorie Naturală: 701
America: 245, 738, 751
— Centrală: 795, 865
America de Nord: 511, 701, 737, 738, 740, 751, 752, 793, 938—946
— de Sud: 463, 511, 739, 751, 792, 891
AMINOFF, Gregori (n. 1883): 477
AMPÈRE, André-Marie (1775—1836): 71, 139, 141, 241
ANASTASSIADIS: 55
ANCEL, Paul (1873—1961): 660, 854
ANDERSAG: 846
ANDERSEN, D.: 865
ANDERSON, Carl David (n. 1905): 342, 344, 346, 368, 371, 384, 385
ANDERSON, John F. (1873—1958): 843
ANDERSON, Wilhelm (n. 1880): 581
ANDING, Ernst E Ferdinand (1860—1945): 527
ANDRADE, Jules (1857—1933): 202
ANDREWS, Ch. (1866—1924): 737
ANDREWS, H.N.: 802, 803
ANDREWS: 692
ANDRIEŞESCU, I.: 753
ANDRONOV, Alexandre Alexandrovitch (1901—52): 68, 935
ANDRUS, C.E.: 812
ANGEL, Franz (n. 1887): 491
ANGELESCU, E. (1896—1968): 445
ANGELIER, E.: 698
ANGHELUŢĂ, Th.: 61
ANGIER, Robert-C. (n. 1917): 848
Anglia: 92, 272, 560, 604, 693, 733, 739, 743, 749, 757, 864, 913, 958
Angola: 739, 750
ANHAGEN: 623
Anul geofizic internaţional (A.G.I.): 468, 471, 472, 539, 584, 695, 935, 972, 973
Anul Internaţional al Soarelui calm: 468, 472, 539
Anii polari: 460, 576
Antarctida, Antarctica: 472, 511, 693, 973
ANTEVS, E.: 745, 751
ANTIPA, Gr.: 733
ANTHONY, Jean: 735, 740
ANTHONY, R.: 735
Antile: 510
ANTOHI, Şt.: 734
ANTONIN: 897
ANTROPOFF, Andreas von (1878—1956): 487
APPELL, Paul (1855—1930): 63
APPLETON, Sir Edward Victor (n. 1892): 272, 315
Aquitaine: 739
ARA, K.: 833
Arabia: 512; Arabi: V. Musulmani
ARAGO, François (1786—1853): 157, 523
ARAMBOURG, Camille (n. 1885): 748, 749, 750

ARBER, Agnes (1879—1960): 783
ARBER, E.A.N.: 805
Arctica: 935
ARDENNE, Manfred von (n. 1907): 285
Aréquipa: 549
ARGELANDER, Friedrich (1799—1875): 560
Argentina: 527, 751, 825, 948—951
Argonne Laboratory: 366, 422
ARINKINE, M.I.: 829
ARISTOTEL (384—322 av. J.-C.): 953
Arizona: 596
ARKADIEV, Vladimir K. (n. 1884): 250, 251
ARLDT, Theodor: 701
ARLEY, N.: 100
ARMER: 128
ARMET DE LISLE, Emile (n. 1853): 332
ARMSTRONG, Charles: 874
ARMSTRONG, E.A.: 706
ARMSTRONG, Henry Emile (n. 1853): 405
ARMSTRONG: 269
ARNAUD, G.: 812
ARNOLD, C.A.: 804
ARNOLD, W.: 770
ARNOLD: 269
ARNOLD: 871
ARNON, D.I.: 768, 773, 774, 775
ARNOUS: 824
ARON, Max (n. 1892): 665
ARP, H.C.: 546
ARQUIÉ: 891
ARRHENIUS, Svante (1859—1927): 289, 399, 401
ARRIS: 847
ARTHUS, Maurice (1862—1945): 650
ARTIN, Emil (n. 1898): 130
ARZELA, Cesare (1847—1912): 45, 57, 66, 72
ASCHHEIM, Selmar (n. 1878): 661, 852, 854
ASCHOFF, Karl A.L. (1866—1942): 886
ASCOLI, Giulio (1843—96): 57, 72
ASGEIRSSON, L.: 72
ASHBY, William Ross (n. 1903): 112, 120, 128, 875
ASHKIN: 317
Asia: 701, 743, 750, 793, 795, 891, 958—974
— de Sud-Est: 965—966
ASKANAZY, Max (1865—1940): 850
ASKEW, Frederic A.: 845
ASLAN, Ana: 917
ASSENMACKER: 857
ASSMANN: 871
Asociaţia Internaţională de Geodesie: 456, 458, 461, 464, 471
ASTBURY, William Th. (n. 1898): 195
ASTON, Francis William (1877—1945): 151, 286, 337, 396, 412
ASTRUP: 650
ASTWOOD, Edwin Pennett (n. 1909): 899
ATANASIU, I.: 654
ATANASIU, L.: 770, 777
ATHANASIU, G.: (n. 1894): 202, 485
ATKINSON, Robert d'ESCOURT (n. 1898): 580
Atlantic, oceanul: 464, 471, 512
Atlas, rachetă: 585
ATWATER, Wilburn Olin (1844—1907): 866
AUBERT, J.-P.: 769
AUBOUIN, J.: 509
AUBOURG: 824
AUBRY: 915
AUBRY, Mme: 877
AUBERVILLE, A.: 799
AUER, John (1875—1948): 843
AUER VON WELSBACH, Carl (1858—1929): 430
AUERBACH, Charlotte: 717
AUGER, Pierre (n. 1899): 340, 368
A.U.R.A.: 522
AUSTEN, R.: 489
AUSTIN, Louis (1867—1932): 264
Australia: 366, 462, 511, 521, 522
Austria: 339, 708, 800
AUVERT, B.: 822
AUWERS, Arthur (1838—1915): 527
AVEL, M.: 688
AVERROÈS IBN RUSD (1126—98): 953
AVERY, Oswald Th. (1877—1955): 717, 718, 788
AVICENNE IBN SINA (980—1037): 955
AVOGADRO, Amodeo (1776—1856): 141, 328
AVRAM, Margareta: 446
AXELROD, D.I.: 796
Ayurveda: 959, 960

BAADE, Walter (n. 1893): 546, 561, 565, 573, 604, 605
BABBAGE, Charles (1792—1872): 112
BABCOCK, E.B.: 794
BABCOCK, Harold D. (n. 1882): 535, 582
BABCOCK, H.W.: 535, 582
BABCOCK: 719
BABEŞ, A.: 829
BABINSKI, Joseph (1857—1932): 872
BACH, A.N.: 762
BABEŞ, Victor: 664, 683, 733, 838, 890, 892
BACALOGLU, R.: 446
BACHELIER, Louis (1870—?): 93, 96
BĂCESCU, M.: 695
BACIU, G.: 393

BACK, Ernst (n. 1887): 220
BĂDĂRAU, E. (1887—1975): 227
BADEA, Fl.: 446
BADER: 76
BADONNEL: 705
BAEHR, George (n. 1887): 885
BAEKELAND, Leo Hendrik (1863—1944): 437
BAER, Karl-Ernst von (1792—1876): 641, 854
BAER: 684
BAERENDS: 703
BAEYER, Adolf von (1837—1917): 769, 776
BAGANAS, N.: 57, 59, 63
BAGNERA, Giuseppe (1865—1927): 87
Bagnères-de-Bigore: 376
Bagdad: 952
BAILEY, I.W.: 787, 805
BAILEY, Percival (n. 1892): 873, 909, 912, 914
BAILEY, Solon Irving (1854—1931): 541
BAILEY: 694
BAILY: 61
BAINBRIDGE, K.: 944
BAIRE, René (1879—1932): 27, 30, 46—48, 130
BAKANOVSKI: 306
BAKER, J.T.: 402
BAKER, R.S.: 758
BAKER: 884
BALABAN, A.T.: 446
BALACHOWSKY, A.S.: 683
BALBIANI, Edouard (1825—92): 711
BALDWIN, J.E.: 604
BALDWIN: 726
Balcani: 699
BALL, E.: 758
BALLARD: 884
BALMER, Johann J. (1825—98): 219
Baltica mare: 464
BALOUT, L.: 751
BALTHAZARD: 891
BALTZER, F.: 689
BALLY, D.: 393
BANACH, Ştefan (1892—1945): 37, 50, 131
BĂNĂRESCU, P.: 734, 736
BANCIU, M.: 446
BANCU, A.: 639
BANG, Bernhard L.F. (1848—1932): 885
BANG: 614
BANG: 907
Bangalore: 962
BANKROFT: 702
BANTA: 689
BANTING, Sir Frederick G. (1891—1941): 849
Banyuls: 698
BARANOV, P.A.: 792
BARANOV, V.I.: 774
BÁRÁNY, Robert (1876—1936): 669
BARBER: 879
BARBIER, Daniel (n. 1907): 576
BARBIER, Philippe A. (1848—1922): 427
BARBIER: 707
BARBILIAN, Dan.: 134
BARBIER: 844
BARBRAN, O.: 915
BARBU, Dănilă: 202
BĂRBULESCU, N.S.: 446
BARCROFT, Sir Joseph (1872—1947): 762, 837
BARDEEN, John (n. 1908): 309, 310, 318
BARDON, abatele L.: 748
BARGER, George (1878—1939): 852
BARGHOORN, E.S., Jr.: 786, 787
BARGMANK: 655
BAR HILLEL, Yeshoshua: 123
BARIETY, Maurice (n. 1897): 869
BARKER, H.A.: 771
BARKER, Thomas Vapond (1881—1931): 476
BARKER: 861
BARKHAUSEN, Heinrich (1881—1923): 242, 273, 276
BARKLA, Charles Glover (1877—1944): 336, 398
BARLOW, William (1845—1934): 486
BARNARD, Edouard Emerson (1857—1923): 565, 566
BARNARD, Sir Joseph E. (1870—1949): 672
BARNES, B.: 809
BARNES: 886
BARNETT, Samuel (n. 1873): 245, 272
BARON: 829
BARR, M.L.: 842
BARRÉ, J.-A.: 875
BARREH: 906
BARRY: 913
BARSOUM: 904
BARTH, E.: 669
BARTHÉLÉMY, Antoine: 955
BARTLETT, Sir Frederic Charles (n. 1886): 100
BARTON, D.E.: 102
BARTON, Otis: 696
BARTOSCH: 904
BARY, Anton DE (1831—88): 809
BASCOM: 504
BASEDOW, Carl A. von (1799—1854): 853, 899
Basel: 437, 736
BASS, J.: 101
BASSETT: 852
BASSHAM, J.A.: 776

BASSLER, R.S.: 680
BATAILLON, Eugène (1864—1953): 640
Batavia: 438
BATESON, William (1861–1926): 708
BAUER, Edmons (1880 – 1963): 193, 233, 243, 244, 413, 485
BAUM, W.A.: 546
BAUMANN, Eugen: 852
BAUMGARDT, Ernst: 669
BAUR, Erwin (1875—1933): 708
Bavaria: 749
BAWDEN: 838
BAYARD, M.: 269
BAYER: 896
BAYER, firmă: 434
BAYES, Thomas (1763): 105
BAYLISS, Sir William Haddock (1860—1924): 652, 657
BEADLE, George Wells (n. 1903): 710, 714, 715, 718, 945
BEATTY: 717
BEAUFORT: 701
BECK: 830
BECKE, Friedrich (1855—1931): 493
BECKER, H.: 340
BECKER, Richard (1887—1955): 248, 480
BECKER, Wilhelm (n. 1907): 554
BÉCLÈRE, Antoine (1856—1939): 824, 825, 839, 909
BECQUEREL, Antoine (1788—1878): 263
BECQUEREL, Edmond (1820—91): 303, 484
BECQUEREL, Henri (1852—1908): 13, 151, 256, 329—331, 335, 395, 823
BECQUEREL, Jean (1878—1953): 484
BEDFORD: 860
BEBBE, William (n. 1877): 696
BEER, August (1825—63): 411
BÉGHIN, Henri (1876—1946): 185
BEHNKE, Heinrich (n. 1898): 36, 64
BEHRENS, M.: 790
BEHRING, Emil von (1854—1917): 890
Behring, strîmtoarea: 511, 751
BEIJERINCK, Martinus W. (1851—1931): 768
BEKEFI: 316
BÉKÉSY, Georg von (n. 1899): 668
BEKLEMIŞEV, V.N.: 676
BELDING, D.L.: 684
BELEVICI, V.: 122
Belgia: 425, 505, 687, 694, 699, 737, 743, 782, 788, 928
BELIANKIN, V.: 492
BELITZER, V.A.: 767
BELL, Charles (1774—1842): 669
Bell Telephone: 303, 304, 321, 601
BELLET: 897
BELLEVUE: 876
BELLING, John (n. 1866): 813
BELLING: 712
BELLONI: 825
BELOT: 910
BENDA: 844
BENDER, H.B.: 811
BENDIXSON, Ivan Otto (1861—1935): 68
BENEDETTI-PICHLER, Anton A. (n. 1894): 411
BENEDICT, Francis Gano (1870—1957): 651
BEN ESCHENBOURG: 323
BENETATO, Gr.: 659, 660
BENHAMOU: 835
Bénin: 751
BENIOFF: 465
BENNET: 905
BENNETT, W.: 321
BENOIT, Jacques: 646, 718, 857
BENSAUDE, Raoul (1866—1938): 824, 827
BENSE, Max (n. 1910): 110
BENSLEY, R.R.: 627
BENSON, A.A.: 764, 766
BENSON, Lyman: 806
BENTHAM, George (1800—84): 804
BÉRARD: 825
BERCIU, D.: 753
BEREK, Max (1866—1949): 483
BERG, L.S.: 726
BERG, Otto (n. 1874): 421
BERG, W.F.: 480
BERGE, Claude: 125
Bergedorf: 528
BERGER, Hans Johannes (1873—1941): 668
BERGER: 622
BERGEY, David H. (1860—1937): 632
BERGIUS, Friedrich (1884—1949): 436
BERGMANN, Ştefan: 64
BERGMANN: 825
BERGONIÉ, Jean: 909
BERGSTRAND: 865
BERÎNDEI, Al.: 393
Berkeley: 363—365, 372—373, 378, 379, 390, 580—581, 944
BERLIN, I.: 897
Berlin: 161, 425, 521, 697, 795
BERMAN, H.: 491
BERMAN, L.: 564
BERNAL, John D. (n. 1901): 478, 487, 498
BERNARD, Claude (1813—78): 21, 611, 655, 656, 762
BERNARD, L.: 871
BERNARD: 720
BERNAYS, Paul (n. 1888): 27
Berna: 160, 161, 700

BERNHARD: 60
BERNHEIM: 897
BERNIER, J.: 277
Bernissart: 736
BERNOULLI, Jacques (1654—1705): 106
BERNSTEIN, F.: 648
BERNSTEIN, Serghei (n. 1880): 51, 73, 87, 92, 936
BERNSTEIN, Vladimir (n. 1900): 59, 60
BERRY, E.W.: 785, 796, 804
BERTALANFFY, von: 128, 725
BERTAUT: 194
BERTEIN: F.: 285
BERTHELOT, Marcelin (1827—1907): 401
BERTHERAUD: 871
BERTHOLD, Arnold A. (1803—61): 853
BERTHOLD, G.: 806, 809, 814
BERTINI, Eugenio (1846—1933): 85
BERTRAM: 898
BERTRAND, Charles Eugène (1851—1917): 746
BERTRAND, Gabriel (1867—1962): 618, 621, 777, 867
BERZELIUS, Jöns, J. (1779—1848): 763
BESREDKA, Alexandre (1870—1948): 843
BESSEL, Friedrich W. (1784—1846): 173
BESSEY, Ernst Athearn: 811
BESSEY: 804, 805
BESSIS, Marcel: 720, 902, 907
BEST, Charles Herbert (n. 1899): 849
BETHE, Hans Albrecht (n. 1906): 153, 302, 368, 391, 400, 420, 580
BETHE, K.: 667
BETOULIÈRES: 826
BETTI, Enrico (1823—92): 33, 35, 43, 90
BEUDANT, François S. (1787—1850): 480
BEUDON, Jules (1869—1900): 71
Beirut: 955, 956
BEZANÇON, Fernand (1868—1948): 871
BEZICOVICI, A.S.: 51
BHABA, H. Jehangir (n. 1909): 324, 962
BIANCHI, Luigi (1856—1928): 85, 87
BIDDULPH, O.: 779
BIEBERBACH, Ludwig (n. 1896): 60
BIEDL, Artur (1869—1933): 855
BIERMANN, Ludwig (n. 1907): 580
BIERMER, Anton (1827—92): 847
BIERNACKI: 58, 60
BIGAY, Joseph Henry: 556
BIGELOW, J.: 117
BIGGART, John Henry: 655, 842
BIGGS: 859
BIJVOET, J.M. (n. 1892): 431
Bikini: 716
BILLARD, E.-G.: 779
BILTZ, Wilhelm (1877—1943): 487
BINET, Alfred (1857—1911): 876
BING, R.J.: 860
BÎRCĂ-GĂLĂŢEANU: 227
BIRKELAND, Kristian (1867—1917): 537
BIRKHOFF, George David (1884—1947): 67, 68, 131, 175, 188, 532
Birmingham: 364, 908
Biroul Internaţional al Orei (B.I.O.): 529, 530
Biroul Internaţional de măsuri şi greutăţi: 977
BISHOFF: 891
BISHOP, Katharine S. (n. 1889): 898
BISPHAM: 97
BITTER, Francis (n. 1902): 242, 297
BITTNER, John Joseph (n. 1904): 636, 716
BJERRUM, Niels (n. 1879): 289, 290, 410
BJÖRK: 910
BJORCK: 828
BLAAUW, A. (n. 1914): 579
BLACK, Davdson (1889—1934): 750
BLACK, H.S.: 117
BLACKETT, Patrick M.S. (n. 1897): 125, 338, 342, 368, 375
BLACKLOK: 684
BLACKMAN, Frederick F. (1866—1947): 770, 772, 806, 808
BLAGA, Lucian.: 727, 734
BLAKEMORE: 865
BLAKESLEE, Albert Francis (1874—1954): 717, 761
BLAKMANN, V.H.: 812
BLALOCK, Alfred (n. 1899): 860, 912
BLANC, Georges: 891
BLANC, Gustave-Louis (1872—?): 428
BLANC-LAPIERRE, A.: 100, 109, 111, 327
BLANCHARD, J.: 744, 749
BLANCHARD, Raphaël: 675
BLAQUIÈRE, A.: 270
BLASCHKE, Wilhelm (n. 1885): 64
BLAJKO, Serghei N. (1870—?): 561
BLEANEY, B.: 250
BLOCH, B.: 883
BLOCH, André (1893—?): 55, 59
BLOCH, Eugène (n. 1878): 268
BLOCH, Felix (n. 1905): 196, 247, 248, 252, 295, 299, 413
BLOCH, Mlle M.: 557
BLODGETT, Katharine: 266
BLOEMBERGEN, Nicolaus: 294, 297
BLONDEL, André (1863—1938): 259, 272, 281, 323
BLONDEL, Ch.: 876
BLONDEL, F.: 504
BLONDLOT, René (1849—1930): 263
BLOOM, W.: 630

BLUM, E.-J.: 602
BLUM, F.: 899
BLUM, I.: 445
BLUM, Th.: 884
BLUMENTAL: 869
BLUMENTHAL, Otto (1876—1944): 56
BLYTH: 846
BOCAGE: 826
BOCHNER, Salomon (n. 1899): 82
BODE, Johann E. (1847—1926): 594
BODE, O.: 269
BODE, H.W.: 117
BODEA, Cornel: 446
BODENHEIMER, Frederick S. (1897—1959): 695
BODENSTEIN, Max (1871—1942): 404
BODIN, D.: 866
BOEKE: 667
BÖHM, K.H.: 583
BÖRNER, C.: 675
BOERSCH, Hans P. (n. 1909): 285
BOGDAN, P. (1873—1944): 444
BOGOLIUBOV, Nicola N. (n. 1908): 310, 313, 318, 356, 936
BOGOMOLET, Alexandr A. (1881—1946): 936
Bogota: 948
BOHL, Piers (1865—1921): 62
BOHLIN, K.: 807
BOHM, David: 153, 154, 310, 318
BOHN, Georges (n. 1868): 702, 705
BOHR, Aage: 356
BOHR, Christian (1855—1911): 837
BOHR, Harald (n. 1887): 50, 53, 60, 62
BOHR, Niels (1885—1962): 144—147, 149, 150, 160, 161, 221, 223, 226, 244, 245, 265, 329, 337, 346, 352, 361, 362, 381, 398, 420, 930, 945
BOICENKO, E.A.: 774
BOISBAUDRAN, Paul-Émile LECOQ DE (1838—1912): 422
BOISCHOT, A.: 608
BOIVIN, André (1895—1949): 633, 637, 718, 880
BOJARSKI, B.V.: 54
BOK, B. (n. 1906): 579
BOL, Gerrit (n. 1906): 88
BOLD, H.C.: 802
BOLDÎREV, A.K.: 487
BOLDOR, O.: 760
Bolivia: 948
BOLLIAC, Cezar.: 753
BOLLMANN: 864
BOLTON, J.G.: 565, 602, 604
BOLTWOOD, Bertram B. (1870—1927): 332
BOLTZMANN, Ludwig (1844—1906): 110, 140, 141, 142, 233, 296, 313
Bombay: 962
BOMPIANI, Enrico (n. 1889): 88
BONAPARTE, Napoléon (1769—1821): 954
BOND, George Ph. (1789—1859): 523, 551
BONGIOVANNI: 836
Bonn: 528, 602, 826
BONNE, C.: 885
BONNER, J.: 755, 756, 761, 768
BONNIER, Gaston (1853—1922): 724, 794
BOOLE, George (1815—1864): 114
BOORMAN: 858
BOOT, Raoul: 278
BOOTH, A.D.: 123
BORASS: 459
BORCEA, I: 641, 733, 736
BORDA, Jean-Charles DE (1733—99): 459
BORDET, Jules (1870—1961): 632, 647, 648, 663, 716, 891
BORDLEY: 822
BOREL, Émile (1871—1956): 27—29, 48, 50, 52, 55—57, 58, 64, 76, 92, 93, 96, 106, 124, 130
BORN, Max (n. 1882): 150, 159, 183, 197, 222, 223, 224, 228, 237, 313, 359, 400, 418, 419, 485, 487
BORNET, Édouard (1828—1911): 806
BORNHOLM: 874
BORONOWSKI, T.: 654
BORREL, A.: 885, 891
BORTHWICK, A.: 885, 891
BORTHWICK, H.A.: 759
BORTIN: 721
BORTOLOTTI, Ettore (1866—1947): 89
BORYSKO: 614
BORZI, A.: 807
BOSCH, Carl (1874—1940): 402
BOSE, Sir Jagadis Chandra (1858—1937): 226, 275, 298, 961
BOSE, S.N.: 962
BOSS, Lewis (1846—1912): 527
BOSTICK: 234, 312
BOSTON: 665, 874
BOSWORTH: 911
BOTEZ, I.G.: 736
BOTEZAT, E.: 733
BOTHE, Walther (1891—1957): 340, 350
BOTNARIUC, N.: 726, 734
BOTT, P.: 862
BOTT, R.: 43
BOTTAZZI, Filippo (1867—1941): 615
BOTTLINGER, Kurt-F.E. (1888—1934): 554
BOUCHARD, Charles (1837—1915): 888
BOUCHEROT, Paul (1869—1943): 323
Budism: 964
BOUDIER, Émile (1828—1920): 813

BOUGUER, Pierre (1698—1758): 464, 550
BOUIN, Pol (1870—1962): 613, 660, 853, 854
BOULANGER, G.-R.: 108
BOULE, Marcellin (1861—1941): 736, 738, 743, 744, 748
BOULIGAND, Georges (n. 1889): 74, 91
BOUNHIOL, Jean-Jacques: 686
BOUNOURE, Louis: 723
BOURBAKI, Nicolas: 133
BOURDIER, Frank: 744, 745
BOURDILLON, Robert B. (n. 1889): 845
BÖTTCHER, C: 293
BOUREAU, E.: 507
BOURGEOIS, Gal. Robert (1857—1945): 456
Bourget, lac: 698
BOURGUIGNON: 831
BOURION: 59
BOURQUELOT, Émile (1851—1921): 622
BOURRELY, P.: 809
BOUTROUX, Pierre (1880—1922): 65, 68
BOUVEAULT, Louis (1864—1909): 428
BOUVIER: 904
BOUWERS: 823
BOUYSSONIE, Amédée: 748
BOUYSSONIE, Jean: 748
BOVÉ, C.: 769, 778
BOVÉ, J.: 769, 778
BOVERI, Theodor (1862—1915): 690, 691
BOVET, Daniel (n. 1907): 844, 895, 904, 905
BOWEN, Ira Sprague (n. 1898): 547, 573, 577
BOWEN, N.L.: 494, 499
BOWEN: 869
BOWER, Frederick O. (1855—1948): 783, 803, 805
BOWLBY: 877
BOYDEN: 825
BOYSEN-JENSEN, Peter (n. 1883): 756
BRACHET, Jean (n. 1909): 628, 637, 642, 780, 790
BRACONNOT, Henri (1781—1855): 617
BRAGG, W.H. (Sir William) (1862—1942): 193, 475, 482
BRAGG, W.L. (Sir Lawrence) (n. 1890): 193, 194, 420, 475—478, 479, 486, 488, 490
BRAGG: 826, 909
BRALY, A.: 489
BRAND, Ernst (1827—97): 888
BRAND: 868
BRANDT, von: 684
BRANLY, Édouard (1844—1940): 268, 274
Brasilia: 949
BRATTAIN, Walter H. (n. 1902): 304
BRATU, Em.: 448
BRAUER, A.: 675
BRAUER, Alfred (n. 1894): 25
BRAUER, Richard (n. 1901): 33, 130
BRAUN, A.C.: 758
BRAUN, K. Ferdinand (1850—1918): 281
BRAUN, Ludwig (1867—1936): 653
BRAUN, L.: 653
BRAUN, Werner von: 585
BRAUN: 345
BRAUN-BLANQUET, J.: 797, 799
BRAUNS, Reinhard (1866—1937): 479
BRAUNSTEIN, A.E.: 781
BRAUNSTEIN: 864
BRAVAIS, Auguste (1811—63): 490
BRAY, C.W.: 668
BREFELD, Oscar (1839—1925): 811, 812, 816
BREHME: 703
BREIT, Gregory: 272, 278, 361, 362
BREITHAUPT, Johann A.F. (1791—1873): 497
BRELOT, Marcel: 72, 74
BREMER, Frédéric (n. 1892): 656, 831
BREMMER: 272
Brescia: 954
Brazilia: 410, 511, 795, 948
Bretagne: 679
Breteuil, Pavillon de: 459
BRETONNEAU, Pierre (1778—1862): 845
BREUIL, abbé Henri (1877—1961): 744, 745, 746
BREUSCH, R.: 25
BREWER: 864
BREZEANU, Margareta: 447
BRICKWEDDLE, F.G.: 343
BRIDEL: 622
BRIDGES, Calvin B. (1889—1938): 708, 711, 813, 945
BRIDGES: 317
BRIDGMAN, Percy Williams (1882—1961): 234
BRIEGER: 719
BRIEN, Paul (n. 1894): 687
BRIGGS, L.I.: 779
BRIGGS: 650
BRIGGS: 717
BRILLOUIN, Léon (n. 1889): 111, 232, 246, 262, 275, 278, 300
BRINELL, Johann August (1849—1925): 486
BRINK, N.G.: 848
BRINKHAUS: 864
BRISSAUD: 872
Bristol: 372, 375, 377
British Council: 969
British Museum of Natural History: 693, 737, 795
BRITTEN, D.H.W.: 123
BROCARD: 869
BROCK, Sir Russell Claude: 912

BROCKMAN: 845
BROCKMANN-JEROSCH, H.: 796
BRODIE, B.: 897
BRODMANN, Korbinian (1868—1918): 668
BRODY: 897
BRÖGGER, Waldemar Christofer (1851—1940): 482, 498
BRÖMEL, H.: 756
BROGLIE, Louis DE (n. 1892): 161, 222, 228, 283, 284, 380, 399
BROGLIE, Maurice DE (1875—1960): 340, 478
BROILI: 737
BRONK: 831
BRONN, Heinrich G. (1800—62): 674
BRØNSTED, J.N.: 291, 406
Brookhaven: 365, 366, 376—379
BROOM, R.: 739
BROOMÉ, G.: 477
BROOKS, Herbert W. (n. 1869): 483
BROSSEL: 297
BROTHERUS, Viktor F.: 802
BROUGH, J.: 724
BROUWER, Dirk (n. 1902): 533
BROUWER, Jan (n. 1881): 36, 62, 76, 90
BROWN, C.: 496
BROWN, Ernest W.: 530, 533
BROWN, G.W.: 126
BROWN, Hanbury R.: 604
BROWN, Herbert C.: 428
BROWN, H.T.: 773
BROWN, J.B.: 432
BROWN, K.R.: 669
BROWN, Robert (1773—1853): 230
BROWN, S.C.: 310
BROWN, T.H.: 770
BROWN, Thomas R. (n. 1872): 878
BROWN: 894
BROWN-SÉQUARD, Édouard (1817—94): 656, 660, 850, 855
BROWNE, John S.L. (n. 1904): 855
BRUCK: 827
BRÜCHE, Ernst C.R. (n. 1900): 284
BRÜCKNER, Eduard (1862—1927): 744
BRUECKNER, K.A.: 356
BRUHAT, F.: 39, 61
BRUMMOND, D.O.: 767
BRUN, A.: 560
BRUN, A.: 704
BRUN, Viggo (n. 1885): 24
BRUN: 829
BRÜNN: 897
BRUNNER: 826
BRUSOTTI, Luigi (1877—1959): 87
Bruxelles: 529, 792
BRYCE, Thomas Hastie (1862—1946): 641
BUCHERER, Alfred H. (1863—1927): 258
BUCHHOLZ, J.T.: 788, 804
BUCHNER, Eduard (1860—1917): 621, 623
BUCHNER, P.: 684, 688, 693
BUCHTHAL: 831
BUCK, D.A.: 233
BUCKLEY, Harold E. (n. 1897): 481
BUCKNER: 127
BUCKY, Gustave (n. 1880): 824, 910
BUDER, J.: 784
Buenos Aires: 938, 950
BUERGER, Karl M. (n. 1911): 194
BUERGER, Martin J. (n. 1903): 481—482, 488
BUFFON, Georges-Louis LECLERC DE (1707—88): 230, 710
BUHOT, S.: 902
BUISSON, Henri (1873—1944): 547, 550
BUJOR, P.: 736
BUKASOV, S.M.: 792
BULL: 123
BULLARD, E.C.: 467
BULLER, Arthus Henry R.: 809
BUNEMAN, O.: 278
BUNGEȚEANU, D.: 392
BUNN, G.W.: 480
BUNNEL, Stirling: 911
BUNNELL, Wallis W. (n. 1902): 882
BUNSEN, Robert (1811—99): 219
BURBRIDGE, G.: 580
BURBRIDGE, M.: 580
BURCKHARD: 114
BUREAU, F.: 58, 75
BUREAU, Robert: 272, 537
BURGATTI, Pietro (n. 1868): 53
BURGEFF, H.: 816, 817
BURGER: 850
BURGERS, Wilhelm G. (n. 1897): 206
BURKE, B.F.: 603
BURKHOLDER, P.R.: 894
BURMEISTER, Carl (1807—92): 675
BURN: 905
BURNAND, R.: 871
BURNET, Sir Frank Macfarlane (n. 1899): 839, 882
BURNHAM, I.: 858
BURNSIDE, William (1852—1921): 33
BURR, George Oswald (n. 1896): 845
BURRIS, R.H.: 767
BURROWS, Montrose Thomas (n. 1884): 629
BURRUS, C.A.: 306
BURT, William Henry: 706
BURTON, D.H.R.: 431
BURZO, Em.: 253
BUSCH, Hans (n. 1884): 281
BUSEMANN, Herbert: 91
BUSH, Vannevar (n. 1890): 940, 943, 946
BUSNEL: 697

BUŞNIŢĂ, T.: 640
BUTENANDT, Adolph F.J. (n. 1903): 436, 661, 686, 854
BUTLER, S.T.: 303
BUTLER: 707
BUTLEROV, A.M. (1828—89): 417
BUTTLE, Gladwin A.H. (n. 1899): 895
BUVAT, Roger: 758, 784, 785, 790
BUXTON: 718

CABANNES, Jean (1885—1959): 225, 477
CABIROL: 696
CABRERA, Blas (1878—1945): 246
CABRERA, N.: 482
CACCIAPOLI, Renato (n. 1904): 59
CACHERA, R.: 863, 865
CADARIU, I.: 447
CADY, Walter G. (n. 1874): 295
CAFFEY: 845
CAILLÈRE, Mlle S.: 485, 489, 497, 499
CAILLEUX, André: 744
CAIN, S.A.: 798, 799
Cairo: 737, 952, 955
CAJAL, N.: 734
CALBICK, C.: 284
Calcutta: 458, 795, 961
CALDAS, J.: 863
CALDERON: 75
CALDWELL, B.: 115
Californian Institut de Tehnologie (Caltec): 603, 605
California: 357, 366, 421, 518, 522, 603, 605
CALISTRU, C.: 448
CALKIN: 680
CALLOW: 836
CALMETTE, Albert (1863—1933): 890, 891
CALUGĂREANU, Gh.: 134
CALVIN, Melvin (n. 1911): 774, 776
Camargue: 692
Cambridge (G.-B.): 144, 256, 409, 433, 435, 460, 602, 605, 644, 848, 926, 945
Cambridge (U.S.A.): v. Harvard University
CAMERON, E.N.: 496
CAMERON, N.: 684
CAMERON: 824
CAMERON: 864
CAMPBELL, Albert (1862—?): 281
CAMPBELL, Douglas Houghton: 782
CAMPBELL, Leon (n. 1881): 563
CAMPBELL, Norman R. (n. 1880): 332
CAMPBELL, William W. (1862—1938): 496
CAMPBELL: 178
CAMPBELL: 904
CAMPI: 865
CAMUS, G.: 758
Canada: 366, 505, 511, 521, 752, 796, 799, 914
Canberra: 366
CANETTI: 872
CANIHAC: 910
CANNIZZARO, Stanislao (1826—1910): 394
CANNON, Annie Jump (1863—1941): 543, 560, 563
CANNON, Walter Bradford (1871—1945): 120, 652, 654, 667, 824, 851
CANNON: 684
CANNON: 709
CANRIGHT, J.E.: 806
CANTACUZINO, I.: 648, 664, 733
CANTELLI, Francesco (n. 1875): 92, 96
Canton: 969
CANTOR, Georg (1845—1918): 27, 46, 57, 133
CANU: 680
CAPDECOMME, L.: 483
CAPITAN, Joseph Louis (1854—1929): 743
CAPPEL, D.F.: 871
CAQUOT, Albert (n. 1881): 189
Caracas: 948
CARADJA, A.: 733
CARAKA (IIe—Ier s. av. J.-C.): 960
CARATHÉODORY, Constantin (1873—1950): 36, 58, 64, 229
CARATZALI, Al.: 734
CARBONNELLE, Ignace, J.-J. (1829—89): 281
CARELLI, H.H.: 825
CARIUS, Ludwig (1829—75): 410
CARLEMAN, Torsten (1892—1949): 50, 73, 76
CARLES: 684
CARLSON, A.J.: 652
CARLSON, Fritz D. (n. 1888): 59
CARMEL, mont: 746
CARNAP, Rudolf (n. 1891): 110
Carnegie Institut de Tehnologie: 366
Carnegie (Fundaţia): 518, 941
CARNOT, Sadi (1796—1832): 139, 229
CAROLI: 825, 865
CARONIA: 895
CAROZZI, Albert (n. 1925): 496
Carpaţi: 699
CARPENTER: 680
CARREL, Alexis (1873—1944): 613, 629, 631, 829, 840
CARRY: 824
CARSON, D.C.: 421
CARSON, John R. (n. 1887): 269, 275
CARTAILHAC, Édouard (1845—1921): 750
CARTAN, Élie (1869—1951): 35, 42, 43, 44, 68—71, 85, 88—91, 130, 186
CARTAN, Henri (n. 1904): 34—35, 36, 43, 50, 55, 57—59, 61, 64, 68, 72, 74, 89

CARTON, M.: 128
CARVALHO, Lopo di: 860
CARVALHO, R. DE: 825
CASAL: 100
CASALS: 839
CASIMIR, H.B.G.: 250
CASPERSSON, T.: 618, 628, 672, 711, 728
CASSEGRAIN, N. (secolul XVII): 216, 521
CASSINIS, Gino (n. 1885): 461
CASTAING, Raymond: 285
CASTELNUOVO, Guido (1865—1952): 64, 85—87, 130
Castillo, peştera din: 746
CASTLE, William Bosworth (n. 1897): 649
CASTLE, William E. (n. 1867): 708
CASTRO, G.M. DE OLIVEIRA: 799
Caşmir: 750
Catalonia: 739
CATON, Richard (1842—1926): 830
Caucaz: 747
CAUCHY, Augustin-Louis (1789—1857): 45, 52—53, 63, 66, 70, 74, 95
CAUDELL: 676
CAULLERY, Maurice (1868—1958): 678, 683
CAUMARTIN, V.: 700
CAVALLI: 715
Cavendish Laboratory: 256, 260, 338, 340—341, 602, 926
CAVENTOU, Joseph (1795—1877): 435
CAYEUX, Lucien (1864—1944): 496, 506
CAYLEY, Arthur (1821—95): 130, 222
CAZAL, P.: 685
CEAKOTIN: 673
CEAPOIU, N.: 734
CEAPLÎGHIN, S.A.: 187, 933, 935
CEBÎŞEV Pafnuti L.: 92
CECCATO, S.: 114, 124
CEAUŞESCU, Elena: 450, 451
CECH, Eduard (n. 1893): 41, 88, 90
Cehoslovacia: 92, 930
CELAKOSKÝ, L.: 782, 783
Centrul Claude-Bernard (Paris): 878
—European de Cercetări nucleare (C.E.R.N., Genève): 365, 366, 373, 379, 931, 977
— Internaţional de Calcul (Roma): 977
— Internaţional al Copilului (Paris): 868
— Naţional al Cercetării Ştiinţifice (Paris): 512, 698, 699, 927, 966
— Naţional de Transfusie (Paris): 903
CERASKY, Witold K. (1849—1925): 549
CERENKOV, Pavel Alekseevich (n. 1904): 316
CERFONTAINE: 691
CERLETTI, Ugo (n. 1877): 906
C.E.R.N.: v. Centrul European de Cercetări Nucleare
CERNĂIANU, I.: 683
CERNĂTESCU, R. (1894—1958): 444
CESÁRO, Ernesto (1859—1906): 50
CETVERIKOV, S.S.: 727
CHABAUTY, C.: 26
CHABROL: 851, 865
CHABRY, Laurent (1855—94): 642, 691
CHADEFAUD, M.: 804, 807, 808, 810
CHADWICK, Sir James (n. 1891): 339, 340—342
CHAGAS, Carlos (1879—1934): 683, 949
CHAÏKOFF: 853
CHAIN, Ernst Boris (n. 1906): 892
CHAKRABATRY: 467
CHALK, L.: 787
CHALONGE, Daniel-H. (n. 1895): 565, 568, 576
CHAMBELLAND: 831
CHAMBERLAIN, C.J.: 804
CHAMBERLAIN, Owen (n. 1920): 379
CHAMBERLAIN: 826
CHAMBERS, Robert (n. 1881): 614, 673, 829
Chancelade: 747
CHANDLER, M.E.J.: 785
CHANDLER, Seth Carlo (1846—1913): 560
CHANDLER: 684
CHANDRASEKHAR, Subrahmanyan (n. 1910): 312, 314, 508, 573, 579, 581
CHANTEMESSE, André (1851—1919): 890
CHAOUL, Henri (n. 1887): 910
Chapelle-aux-Saints, peştera de la: 748
CHAPMAN, Sydney (n. 1888): 188, 582
CHAPMAN, S.: 880
CHAPMAN: 679
CHAPMAN: 692
CHAPPELLIER, Albert: 708
CHAPPUIS, P.-A.: 698
CHARCOT, Jean-Martin (1825—93): 872, 876
CHARCOT, commandant Jen (1867—1936): 694
CHARLES: 904
CHARLESWORTH, J.K.: 744
CHARNES: 126
CHARNIAUX-COTTON, Hélène: 687
CHARNLEY, J.: 911
CHASE: 716
CHÂTELAIN, P.: 478
CHATIN, Gaspard-A. (1813—1901): 853
CHATTON, Édouard (1883—1947): 613, 680—682
CHAUDRON, Georges (n. 1891): 489
CHAUFFARD, Anatole (1855—1932): 858
CHAUVEAUD, Gustave (1859—1933): 769—770
CHAUVIN, Rémy: 694, 705

CHAZY, Jean (1882—1955): 65—66, 68, 532
CHEADLE, V.I.: 787
CHERIGIÉ: 824
CHERN, Shiing-Shan: 36, 90
CHESNEY, Alan M. (n. 1888): 853
CHEVAIS: 715, 717
CHEVALIER, Auguste (1873—1960): 799
CHEVALLEY, Claude: 34, 40, 41—43, 85, 87
CHEVALLIER, P.: 882
CHEVALLIER: 897
CHÉVENARD, Pierre (1888—1960): 202, 243, 489
CHÉVREMONT, M.: 614
CHIBNALL, Albert-Charles: 432, 781
Chicago: 347, 355, 366, 412, 416, 425, 896, 899, 909, 944
CHICKERNIG: 869
CHIEWITZ, O.: 396
CHIFU, E.: 447
CHILD, Clement D. (1868—?): 260, 266
CHILD, C.M.: 643, 691—692
Chili: 522, 949—950
China: 501, 574, 679, 748, 750, 793, 924, 964—965, 968—974
CHIRICUȚA, I.: 734
CHIRILEI, H.: 757, 759
CHISINI, Oscar (n. 1889): 86
CHI-TAI-CHUANG: 58
CHITTENDEN, Russel Henry (1856—1943): 866
CHOMSKY: 124
CHOPPIN, G.R.: 422
CHOQUET, Gustave: 72, 74
CHORNEY, D.: 316
CHOUARD, Pierre: 759
CHRÉTIEN, Henri (1879—1956): 521
CHRISTEN: 826, 909
CHRISTENSEN, C.: 803
CHRISTIAN, Henry Asbury (1876—1951): 853
CHRISTIAN, Walter: 623, 765
CHRISTIANSEN, Johanne O. (n. 1882): 652
CHRISTIANSEN, W.N.: 602
CHRISTMAN, A.H.: 812
CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY, Mme: 494, 499
CHRISTOFILOS: 364
CHURCH, Alonzo (n. 1903): 114
Ciad: 748
C.I.O.M.S.: 976
CIORASCU, Fl.: 202
CIORANESCU, N.: 134
CIOVÎRNACHE, Marta: 734
C.I.P.R.: 826
CISOTTI, Umberto (n. 1882): 187
CIȘMAN, Al. (1897—1967): 202
CIUCĂ, M.: 683
Circe, munte: 748
CIUBAN, Fl.: 448
CIUDAKOV: 25
CIUHROV, F.V.: 496
CIUGAEV, Lev.: 427
CIULLI, Sorin: 392
CLAESSON, S.: 415
CLAIRAUT, Alexis-Claude (1713—65): 461
CLAPP: 898
CLARK, J.D.: 751
CLARK, W.M.: 653
CLARKE, B.: 808
CLARKE, Frank W. (1847—1931): 497, 504
CLARKE: 678
CLARKE: 914
CLAUDE, Auguste (1858—1938): 528
CLAUDE, A.: 614, 615
CLAUSEN, J.: 719, 794
CLAUSIUS, Rudolph (1822—88): 139, 140, 229, 292
CLAUSSEN: 816
CLAVERT: 646
CLAVIER, A.: 276, 279
CLAY, Jacob (n. 1882): 367
CLEBSCH, Alfred (1833—72): 86
CLEETON, T.: 294
CLEJAT: 886
CLEMENCE, Gerald Maurice (n. 1908): 533
CLEMENTS, Frederick Edward (n. 1874): 693, 794, 797
CLEMMESEN: 831
CLEVELAND: 682
Cleveland: 102
CLOT BEY Antoine BARTHÉLÉMY: 955
CLUNET: 883
COBB, Nathan A. (1839—1932): 698
COBLENTZ, William W. (n. 1873): 524
COBURN: 860
COCHEEI, V.: 449
COCKROFT, Sir John Douglas (n. 1897): 340
CODREANU, M.: 689
CODREANU, R.: 677, 689, 733
COFIRNO, E.: 865
COHEN, A.L.: 810
COHEN, G.: 716
COHEN, I.: 41
COHEN, S.: 766
COHEN: 891
COHN, E.: 294
COHN, Ferdinand (1828—98): 807
COHN: 848, 890, 903
COLACEVICI, A.: 215
COLBERT, E.-H.: 740
COLE, Alfred: 292
COLE, Warren H. (n. 1898): 825
COLEMAN, P.: 320

COLEMAN: 190
COLES, Donald K.: 294
COLIEZ: 825, 909, 910
COLIN, Henri: 779
COLLANDER, R.: 778
COLLET, L.W.: 698
COLLET: 863
COLLIP, James Bertram (n. 1892): 850, 852, 854
COLLIS: 860
Columbia: 948, 950
Colorado: 752
Columbia; Universitatea: 319, 347, 366, 377, 944—945
COLVIN, E.L.: 691
COLVIN, L.H.: 691
COMANDON, J.: 614, 673
Combarelles, Peștera din: 752
COMESSATI, Annibale (1886—1945): 85, 87
Comitetul Internațional de Geografie: 539
— Internațional al Organizațiilor de Stiințe Medicale (C.I.O.M.S.): 976
— Internațional de Măsuri și Greutăți: 471, 531
— Permanent al Meteoriților: 499
Comitetul special de Oceanografie (S.C.O.R): 976
— special de Cercetări Antarctice (S.C.A.R.): 976
— special de Cercetări Spațiale (C.O.S.P.A.R.): 976
— special al Anului Geofizic internațional (C.S.A.G.I.): 976
Comisariatul Energiei atomice: 927
COMMONER, B.: 756
COMMANT, V.: 745
Comore: 678
COMPÈRE: 911
COMPTON, Arthur Rolly (1892—1954): 218, 367, 380, 944
COMPTON, K.T.: 942, 944, 946
COMȘA, E.: 753
COMTE, Auguste (1798—1857): 12
COMTE, Ch.: 881
CONANT, J.-B.: 772, 944
CONDON: 339
CONDURACHI, Em.: 753
CONFORTO, F. (1909—54): 87
Confucianism: 965
Congo: 678, 700, 750
CONKLIN, Edwin Grant (1863—1952): 691
CONN: 836
CONNOR: 865
CONRADI: 617
CONSEIL, E.: 881
Consiliul Internațional al Cercetărilor: 529, 976
— Internațional al Uniunilor Științifice: 471, 529, 539, 976
Constantinopol: 952
CONSTANTINESCU, C.K.: 734
CONTA, Vasile: 733
CONTI: 68
CONVERSI, M.: 372
CONVERT, G.: 319
CONYNGHAM, Lenox: 460
COOK, A.H.: 459
COOK, James Wilfred (n. 1900): 884
COOKE: 844
COOKSON, Isabel C.: 786
COOLIDGE, William David (n. 1873): 328, 823
COOMBS, R.R.A.: 858
COOPER: 126
COOPER: 309, 310, 318
COPE, Edward D. (1840-97): 723
Copenhaga: 149, 356, 468, 827, 907, 945
COPERNIC, Nicolas (1473—1543): 518
COPPENS, Y.: 748
COPPO: 865
CORCIOVEI, Aretin.: 202
CORDIER: 652
Cordoba: 948, 950
CORDONNIER, G.: 124
CORE, E.L.: 806
COREY: 619
CORI, Carl F. (n. 1896): 441, 626, 842, 850
CORI, Gerty T. (1896—1957): 441, 626, 850
CORIOLIS, Gustave (1792—1843): 172
CORLISS: 680
Cornell, Universitatea: 761
CORNER, E.J.H.: 812
CORNER, George Washington (n. 1889): 641
CORNISCH, A.L.: 898
CORNU, Max (1843—1901): 813
CORRE, Mlle L.: 880
CORRENS, Carl (1864—1933): 708, 709
CORSON: 683
CORTI, Alfonso (1822-88): 668
CORYELL, Charles D.: 420
COSAR: 897
C.O.S.P.A.R.: 976
COSSLETT, V.: 285
COSTĂCHESCU, N. (1878—1939): 444
COSTĂCHEL, O.: 734
COSTANTIN, Julien (1857—1936): 724
COSTER, Dirk (n. 1889): 421
COTLAR, M.: 53
COTNER, F.B.: 813
COTTON, Émile (1872—1950): 68, 87
COTTRELL, Frederick G. (n. 1877): 200
COTTY, Gaston: 87
COUCH, John N.: 813
COUDERC, Paul: 541, 565, 572, 573, 582

COUETTE, Maurice (n. 1858): 190
COUFFIGNAL, Louis: 113
COULOMB, Charles-Augustin (1736—1806): 139, 239, 465
COULTER, J.-M.: 804
COURANT, Richard (n. 1888): 62, 73, 74, 364
COURNAND, André (n. 1895): 828, 860
COURRIER, Robert (n. 1895): 659, 661, 851, 853
COUSIN, G.: 716
COUSIN, Pierre (1867—1933): 34, 63
COUSTEAU, commandant Yves: 675—676
COUTARD, Henri (n. 1876): 909
COUTTS: 718
COUTURE-MATHIEU, L.: 485
COVINGTON, A.E.: 603
COWEN, B.: 882
COWLES, H.C.: 797
COWLING, T.N.: 311, 580
COX, H.R.: 882
COX, J.P.: 583
COX: 839, 891
CRAFOORD, Clarence (n. 1889): 860, 912
CRAFT, A.S.: 788
CRAIGIE, John Hubert: 812
CRAMÉR, Harald (n. 1893): 92, 96, 98
CRAMPTON, G.C.: 676
CRANSTON, John Arnold: 332
CRAWFORD: 837
CREIGHTON, H.B.: 711
CRELLI: 825
CREMER, H.D.: 833
CREMONA, Luigi (1830—1903): 84
CRICK, Francis H.C. (n. 1916): 619
Crimeea: Observatorul din: 521, 535, 602
CRISTIAN, A.: 688
CRISTINO, di: 895
CRITCHFIELD, Charles-Louis (n. 1910): 580
CROFT-HILL, Arthur: 621
CROIZAT, L.: 801
CRONRADT: 714
CROOKES, Sir William (1832—1919): 218, 328, 334
CROPPER: 884
CROSS, Charles F. (1855—1935): 492
CROSS, Mary: 908
CROSSLEY, Edward: 566, 569, 570
CROZE, F.: 547
CRUCHET, Jean R.: 873
CRUSSARD, Louis: 188
C.S.A.G.I.: 976
Cuba: 825, 948—949
CUÉNOT, Lucien (1866—1951): 677, 681, 708, 712, 725
CULSHAW, W. : 320
CURASSON: 683
CURD, Francis H.S. (1909-48): 896
CURIE, Irène (1897—1956): 340, 344, 345, 396
(v. și JOLIOT-CURIE, Irène)
CURIE, Jaques (1855—1941): 198, 331
CURIE, Maria (născută SKLODOWSKA (1867—1934)): 151, 330—333, 342, 396, 491, 621, 823
CURIE, Maurice (n. 1888): 396, 484
CURIE, Pierre (1859—1906): 151, 198, 239—240, 331, 491, 823
CURIE, Laboratorul: 421
CURIEN, H.: 485
CURIEVICI, I.: 448
CURTIS, Heber Doust (1872—1942): 527, 566, 569—570
CURTIS, O.F.: 779
CURTIS: 885
CURTIUS: 617
CUSHING, Harvey Williams (1869—1939): 655, 666, 668, 851, 856, 861—862, 867, 873, 914
CUSHMAN,: 679
CUTLER: 836
CUVIER, Georges (1769—1832): 735, 739
CUZIN: 716
CZERNY, Marianus (n. 1896): 224

DACEY, G.: 305
DAHLIN: 911
DAHM: 690
Dakar: 897
DAKIN, Henry Drisdale (1880—1952): 441
DAKIN, T.K.: 294
Dalat: 966
DALCQ, Albert M.: 691
DALE, Henry Hallett (n. 1875): 653, 667—668, 844, 904
DALLDORF, Gilbert J. (n. 1900): 874
DALLEMAGNE, M.: 646
DALLOS, J.: 211
DALSACE, J.: 825
DALTON, John (1766—1844): 328
DALY, R.A.: 744
DAM, Henrik (n. 1895): 846
DAMOUR, Alexis (1808—1902): 884
DANA, Edward S. (1849—1935): 489
DANA, James Dwight (1813—95): 509
DANDY, Walter Edward (1886—1946): 825, 873, 914
Danemarca: 405, 678, 694, 739, 756
DANGEARD, Pierre-Augustin (1862—1947): 789
DANIEL, C.: 829
DANIELL, P.J.: 80
DANIELOPOLU, D.: 655, 664, 844

DĂNILĂ, M.: 445
DANJON, André (n. 1890): 528, 549—550, 556
DANLOS, Dr.: 335
DANNE: 909
DANNEMANN: 693
DANOS, M.: 320
DANSEREAU, P.: 796
DANTZIG, G.B.: 126
DARBOUX, Gaston (1842—1917): 70, 85, 87, 186
DARCHEN: 707
DARLING: 866
DARLINGTON, P.J. Jr.: 701, 711—712, 718, 788, 813
DARMOIS, Eugène (1884—1958): 290
DARMOIS, Georges (1888—1960): 92, 96, 98, 109
DARRAH, W.C.: 507
DARROW, D.C.: 834
DARWIN, Charles (1809-82): 482, 694, 725, 751, 756, 813, 950
DARWIN, Francis (1848—1925): 756
DATTA, Birhu B. (n. 1888): 959
DUABRÉE, Auguste (1814-96): 498
DAUSSET, Jean: 822
DAUVILLIER, Alexandre (n. 1892): 495, 744
DAUVILLIERS, S.: 826, 909
DAVENPORT, Charles B. (1866—1944): 714
DAVEY, D.G.: 896
DAVID, F.N.: 102
DAVID, Pierre: 278
DAVID, 825, 914
DAVIDOGLU, A. 134
DAVIES, D.W.: 115
DAVIS, H.: 669
DAVIS, Marguerite: 845
DAVIS: 831
DAVISSON, Clinton Joseph (1881—1958): 148, 284, 477
DAVY, Sir Humphry (1778—1929): 754
DAVYDOFF, Constantin (1878—1960): 691
DAWSON: 786
DAWUD EL-ANTAKI (1599): 955
DEAESLY: 898
DEAN: 830
DE BEER, Sir Gavin Rylands (n. 1899): 736
DEBIE: 448
DEBIERNE, André-Louis (1874—1949): 332
DEBRÉ, Robert (n. 1882): 328, 436, 440, 442, 620, 626, 629, 634, 638, 651, 657, 661, 668, 720, 835, 836, 842, 845, 856, 863, 868, 871, 872, 875, 878, 880—881, 890
DEBYE, Peter (n. 1884): 197, 233, 235, 237, 243, 246, 288, 291—292, 380, 405, 476, 478
DECHASEAUX, Colette: 740
DÉCHELETTE, Joseph (1862—1914): 743
DECKWITZ: 890
DEDEBANT: 101
DEDECKER: 90
DEDEKIND, Richard (1831—1916): 32, 39, 46, 131, 133
DEE, Philip I. (n. 1904): 340
DEELMAN: 884
DEFFORGES, général Gilbert (1852—1915): 451
DEFLANDRE, G.: 679, 717
DE FRANCHIS, Michele (1875—1946): 87
DEFRETIN: 688
DEGKWITZ, R.: 881
DEHN: 688
DEICHA, G.: 479
DEJERINE, Joseph H.: 872
DEKEN-GRENSON: 716
DEKEYSER, W.: 482
DELAFOSSE, Gabriel (1796—1878): 486
DELAGE, Yves (1854—1920): 640
DELANGE, H.: 59
DELASSUS, Étienne (1868—1926): 186
DELCROIX, J.: 315
DELE: 851
DELEANU, G.: 641
DELEANU, N.T.: 762
DELESSE, Achille (1817-81): 493
DELEURANCE,D-na: 691
DELEZENNE, Charles (1868—1932): 617
Delft: 366
DELPINO, F.: 782
DELPRAT: 835
DELSARTE, Jean (n. 1903): 51
DELSAUX, Joseph (1828-91): 231
DEMARCAY, Eugène A. (1852—1904): 332, 422
DEMOULIN, Alphonse (n. 1869): 87
DEMOLL, R.: 697
DEMPSTER, Arthur J. (n. 1886): 412
DENAYROUSE:: 696
DENECKE: 862
DENISSE, Jean-François (n. 1915): 315, 573, 582, 602
DENJOY, Armand (n. 1884): 29, 30, 55, 57, 76, 130
DENNISON, David M. (n. 1900): 236
DENNY, F.E.: 760
DENNY-BROWN: 831
DENT: 841, 861
DENY, J.: 72, 76
DEPÉRET, Charles (1854—1920): 736, 745
DEPREZ, Marcel (1843—1918): 323

DERBYSHIRE: 669
DEROT: 907
DESBUQUOIS, Georges: 436, 440, 442, 620, 626, 629, 634, 638, 657, 661, 668, 720
DESCARTES, René (1596—1650): 155
DESCLAUX: 831
DES CLOIZEAUX, Alfred (1817-97): 482
DESCOMBES 176
DESLANDRES, Henri (1853—1948): 224, 537, 566, 600
DESMONTS, G.:882
DESORMEAUX, Antonin J. (1894): 827
DESPERT, L.: 877
DESSAUER: 910
DESTRIAU: 200
DEUEL: 835
DEVIATKOF: 276
DEVIC: 875
DEWAR, Sir James (1842—1923): 402
DIACONESCU, V: 448
DIAMOND: 902
DIATKINE, R.: 877
DICK, George F. (n. 1881): 879
DICK, Gladys R.H. (n. 1881): 879
DICKSON, Leonard Eugene (1874—1954): 131
DIELS, Ludwig (1874—1945): 796, 800
DIELS, Otto (1876—1954): 428
DIELS: 652
DIEUDONNÉ, Jean: 28, 60, 61
DIKSHIT, S.B.: 959
DILLER: 680
DILTHEY, Walter O. (1877—1955): 425
DINCĂ, C. : 648
DOAN: 218
DIONNE, familia gemenelor cvintuple: 721
DIPPELL: 674
DIRAC, Paul A.M. (n. 1902): 148, 150, 167, 222, 226, 294, 382, 384, 399, 581
DIRICHLET, Peter Gustav Lejeune (1805—59): 25, 35
DIVE, Pierre: 510
DIX: 832
DIXMIER, Jacques: 39
DIXON, Hugh Neville (1861—1944): 802
DIXON, Walter Ernest (1871—1931): 667
DJERASSI, Carl (n. 1923): 411
DOBZANSKY, T.: 714, 718, 727
DODD: 834
DODDS, Sir Edward Charles (n. 1899): 854
DODGE, B.O.: 810, 816
DOEBLIN, Wolfgang (1915—1940): 92
DOEHLER: 278
DOELTER, C.: 489
DOERING, H.: 428, 435
DÖRING, Werner S. (n. 1911): 248, 480
DOERR, Robert (1871—1952): 844
DOETSCH, Gustav (n. 1892): 76
DOFLEIN, F.: 683
DOGIEL, V.A.: 680
DOIG, P.: 562
DOISY, Edward Adalbert (n. 1893): 428, 436, 661, 846, 854
DOKUCEAEV, V.V. 796
DOLGOFF: 884
DOLL: 884
DOLK, H.E.: 756
DOLLFUS, Audouin: 541
DOLLO, Louis (1857—1931): 723, 737
DOLLAND, Peter (1730—1821): 212
DOMAGK, Gerhardt (n. 1895): 434
DONATH, W.F. (n. 1889): 846
DONATH: 858
DONCASTER, L.: 690, 710
DONDER, Théophile E., DE (n. 1872): 229
DONKER, H.J.: 762
DONNAN: 621
DONNAY, L.D.H.: 481
DONNER: 824
DOOLB, J.L.: 92
DOPPLER, Christian (1803—1853): 157, 168, 179, 181, 316, 320, 596
DOPTER: 890
Dordogne, valea la: 743
DORE: 461
DORFMANN, I.G.: 250
DORNESCU, G.T.: 641, 734, 736
DOSTERT, Dr.: 123
DOTI: 835
Dubna: 363—364, 379, 977
DUDOROFF, M.: 766
DOUGHERTY: 649
DOUGLAS, Claude Gordon (n. 1882): 653
DOUGLAS, Jesse (n. 1897): 74, 87
DOUGLAS: 650
DOUMIC, Alice: 822
DOUVILLÉ: 679
Dow Chemical Co.: 423
DOYON: 864
DRACEA, I.: 734
DRACH, Jules (1871—1949): 69—71
DRACH, P.: 696
DRĂGANU, Mircea: 392
DRĂGESCU, Jean: 673
DRĂGHICESCU, P.: 253
DRĂGOTOIU, C.: 639, 640, 641, 688
DRĂGULESCU, C.: 447
DRAPER, Henry (1738-82): 544
DRESCHLER, Ch.: 809, 813
DREYER, John L.E. (1852—1926): 569
DREYFUSS: 884
DRICKHAMMER: 234

DRIENCOURT, Joseph (1861—1940): 528
DRIESCH, Hans (1867—1941): 642, 691
DRIEUX: 880
DRIMAŞ, I.: 449
DRISCHEL: 836
DROSTE: 345
DRUDE, Oscar (1852—1933): 796
DRUDE, Paul, K.L. (1863—1906): 197, 199
DRUGMAN, J. : 478
DRZEWINA: 705
DUANE, William (n. 1872): 219
DUANE: 826
DUBININ, N.P.: 714
DU BOIS, Eugene Floyd (1882—1959): 651
DUBOIS, G.: 746
DU BOIS: 692
DUBOS, René (n. 1901): 890 892
DUBOSQ, Octave (1868—1943): 681, 682, 687
DUBREUIL: 613, 647
DU CASTEL, François: 279
DUCHOSAL: 830
DUCUING: 909
DUDLEY, Harold Ward (1887—1935): 667
DUDLEY, H.: 121
DÜKER, H.: 285
DUFAY, Charles de CISTERNAY (1698—1739): 263
DUFAY, Jean (n. 1896): 550, 565
DUFFY: 648
DUFOURT: 871
DUFRESNOY, J.: 57, 59, 63
DUGAN, Raymond S. (n. 1878): 558
DUGAZ, René (1897—1957): 142, 184
DUGGAR, Benjamin M.: 894
DUGUÉ, Daniel: 96, 103, 109
DUHEM, Pierre (1861—1916): 72, 140, 188, 239
DULAC, Henri (n. 1870): 64, 68
DULONG, Pierre-Louis (1785—1838): 197, 236, 237, 263, 298
DUMAS, Georges (1866—1946): 702, 876
DUMITRESCU, Vl.: 753
DUNCOMBE, Raynor Lockwood (n. 1917): 533
DUNGERN, Emil von (n. 1876): 648
DUNHAM, Theodore (n. 1897): 567
DUNNING: 885
DUNOYER, Louis (n. 1880): 295
DUPARQUE, A. : 497
DUPIN, Charles (1784—1873): 85
DUPOUX, R.: 897
DUPOUY, Gaston (n. 1900): 285, 477
DU PRÉ, F.K.: 250
DUPRÉ-LATOUR, F.: 340
DURAN-REYNALS: 646
DURAND, E.J.: 812
DURAND, Paul (n. 1895): 882
DURCHON, M.: 688
DURHAM, Herbert Edward (1866—1945): 663
DURRIEUX: 891, 897
DURRUM, E.L.: 833
DURUP: 831
DUSHMAN, Saul (n. 1883): 264, 267, 299, 487
DUSSER DE BARENNE, Johannes G. (1885—1940): 668
DUSTIN, A.P.: 631
DUVE, DE: 850
DUVIGNEAUD, P.: 799
DU VIGNEAUD, Vincent (n. 1901): 449, 857
DUYSENS, L.N.: 772
DYSON, Sir Franck Watson (1868—1939): 527
DYSON, M.A.: 391
DYSON:23
DYSON: 216

EAMES, A.J.: 783, 785, 803
EAST, Edward M. (1879—1938): 708, 813
EASTMANN, G.: 824
EARLE: 883
EBELING, A.H.: 829
ECCLES, William H. (n. 1875): 272, 315
ECKER, Wallace John (n. 1902): 533
ECKERSLEY, T.L.: 272—273
ECKERT, M.J.: 113
ECKMANN, Beno (n. 1917): 34, 90
ECONOMU, Constantin (1861—1931): 668, 873
EDELEANU, L. (1861—1941): 445
EDDINGTON, Sir Arthur S. (1882—1944): 89, 161, 178, 535, 555—567, 577, 579, 580, 599
EDINGER, T.: 740
EDISON, Thomas (1847—1931): 263
EDKINS, John Sydney (1863—1940): 652
EDLÉN, Bengt (n. 1906): 536, 547, 577
EDSALL, J.: 294
EDSALL, J.T.: 654
EDWARD: 855
EDWARDS, A. Tudor (1890—1946): 870
EDWARDSON: 716
EFREMOV, J.A.: 740
EGAS MONIZ: V. MONIZ
EGER: 36
EGGEN, O.J.: 562
Egipt: 952, 953, 955
EHRENFEST, Paul (1880—1933): 243
EHRENHAFT, Felix (1879—1952): 256

EHRENPREIS, Leon: 76
EHRESMANN, Charles: 35—36, 43, 90
Ehringsdorf: 749
EHRLICH, Paul (1854—1915): 434, 647, 895
EICHLER, August W. (1839—87): 801, 803
EIJKMAN, Christiaan (1858—1930): 438, 846
EILENBERG, Samuel: 34, 131
EINHORN: 818
EINSTEIN, Albert (1879—1955): 141, 143—144, 146—147, 159—162, 166, 172—174, 182—183, 184—185, 192, 197, 219, 231, 237—238, 245 258, 264, 288, 296, 298, 359, 380, 391, 524, 532, 546, 576, 579, 598, 962
EINTHOVEN, Willem (1860—1927): 653, 829, 830
EISENBERG: 895
EISENHARDT, Luther P. (n. 1876): 64
EISENMENGER: 913
EITEL, Wilhelm (n. 1891): 499, 504
EKMAN: 701
ELENKIN, A.A.: 805
ELFORD: 839
ELIANU, I.: 54
ELIAS, W.: 879
ELIE DE BEAUMONT, Léonce (1798—1874): 493
ELLER, G. von: 477
ELLERMANN: 885
ELLIOT, N.: 115
ELLIOT, Robert Henry (1864—1936): 915
ELLIOTT, Thomas R. (1877—1961): 667
ELLIS, Sir Charles Drummond (n. 1895): 286, 339, 344
ELLISON, J.W.: 122
ELLSWORTH-HOWARD: 837
ELSASSER, W.M.: 311, 349, 352—353
ELSASSER: 467
ELSCHNIG, Anton (1863—1939): 916
ELSTER, Julius (1854—1920): 263, 332, 334
ELTON, C.: 693
Elveţia: 696, 734, 741, 780, 824, 826, 853, 891, 909, 928
EMBDEN, Gustav (1874—1933): 765
EMBERGER, Louis (n. 1897): 507, 789, 800, 804
EMDEN, Robert (1862—1940): 575
EMERSON, O.H. et G.A.: 846
EMERSON, R.: 770
EMERSON: 710—711
EMICH, Friedrich (1860—1940): 410
EMMONS, W.H.: 496
ENDERBY, C.: 320
ENDERS, John F. (n. 1897): 840
ENEBO, Sigurd (1866—1909): 563
ENENCKEL: 833
ENGELHARDT, W.A.: 654
ENGLER, Adolph (1844—1930): 795—796, 801, 802—804, 806—807
ENGLÜND, C.R.: 269
ENGSTROM: 907
ENTNER, N.: 766
ENRIQUES, Federigo (1871—1946): 64, 85—87, 130
EÖTVÖS, Lóránd (1848—1919): 173, 460, 503
EPHRUSSI, Boris (n. 1901): 715, 716, 718
EPSTEIN, Paul S. (n. 1883): 221
EPSTEIN: 863
EPSTEIN, B.: 277
Ecuador: 456, 950
ERDÖS, Paul: 24—25
ERDTMAN, G.: 786, 803
ERHART, H.: 506
ERIKSSON, J.: 812
ERLANG, A.K.: 126
ERLANGER, Joseph (n. 1874): 666
ERRERA, A.: 24
ERXLEBEN, H.: 757
ESAKI: 305
ESAU, Katherine: 787
ESCLANGON, Ernest (1876—1954): 62
ESCOMBE, F.: 770, 773
ESHOUQUES, D': 861
ESKOLA: 503
ESMER: 913
ESNAULT-PELTERIE, Robert (1881—1957): 584
ESQUEVIN, J.: 499
E.S.R.O. 977
ESSEN, L.: 529
ESTABLE, C.: 614
ESTERMANN, Theodor (n. 1902): 25
ESTOUP, J.—B.: 122
EUCLID (IIIe î.e.n.): 24
EULER, Leonhard (1707—83): 25—26, 36, 79, 103, 155, 533
EULER—CHELPIN, Hans von (n. 1873): 623, 930
Eufrat: 952
Eurasia: 511, 748
EURATOM: 931
Europa: 92, 347, 463, 467, 497, 501, 512, 530, 602, 693, 699, 736—737, 749, 751, 847, 891 925—931, 940—943, 953
Europa centrală: 92, 795
Europa de Est: 930
EUW, von: 856
EVANS, Alice C. (1881): 882
EVANS, Griffith C. (n. 1887): 53
EVANS, Herbert McLean (n. 1882): 845, 851, 854

EVANS, R.C.: 478
EVDHEIM: 851
EVERETT: 857
Evul Mediu: 952—954, 956—957
EWALD, Ernest J. (1855—1921): 668—669
EWALD, Peter P. (n. 1888): 474, 476
EWAN, J.: 793
EWING, James Alfred (1855—1935): 239
EWINS: 897
Extremul Orient: 679, 933, 964—974
EYRING, Henry (n. 1901): 299, 404
Eyzies, peşteră: 752

FABER, Georg. (n. 1877): 60
FABIAN, I.: 757, 771, 772
FABIAN—GALAN, Georgeta: 757, 777, 780
FABRE, Henri (1823—1915): 707
FABRICIUS, David (1564—1617): 559
FABRY, Charles (1867—1945): 218, 547, 550—551, 556
FACQUET: 828
FAGET, Guy Henry (n. 1891): 895
FAILIA: 826, 909—910
FAIRBRIDGE, R.W.: 744
FAIRCHILD, D.: 793
FALGUEIRETTES, J.: 478
FALKENBERG, P.: 806, 814
FALKENHAGEN, Hans E. (n. 1895): 290
FALLOPE Gabriele FALLOPIA (1523—62): 639
FALLOT, Étienne, L.-A. (1850—1911): 860, 912
FANCONI, Guido: 842
FANO, Gino (1871—1952): 86
FANTAPPIÉ, Luigi (n. 1901): 76
FARADAY, Michael (1791—1867): 139—140, 166, 239, 241, 261, 288
FARBER: 866
FARINAS: 863
FARMER, Sir J.B.: 638
FARNSWORTH, P.: 288
FARRELL, James Irving (n. 1906): 652, 855
FATOU, Pierre (1878—1929): 58, 61—62
FAUCHER: 828
FAURE: 681
FAURÉ-FREMEIT, Emmanuel (n. 1883): 673, 681, 698
FAUVERT: 835
FAVRE, Maurice (n. 1876): 634
FAVREAU, J.: 877
FAXÉN, Olof H. (n. 1892): 359
FAYOD, Vincent (1860—1900): 811
Fayum, : 737
FEATHER, Norman (n. 1904): 340
FEDOROV, Vladimir S. (n. 1893): 53
FEHER, G.: 297
FEHRENBACH, Charles (n. 1914): 227
FEKETE, Michel (n. 1886): 60
FEIGL, Friederich (n. 1891): 410
FEJER, Leopold (n. 1880): 60
FELDBERG, Wilhelm (n. 1900): 667, 904
FELDMAN: 882
FELDMANN, J.: 815
FELL, H.B.: 630
FELLER, William (n. 1906): 92, 99
FERBER: 850
FERLG: 839
FERMAT, Pierre DE (1601—65): 25, 106
FERMI, Enrico (1901—54): 226, 251, 298, 344, 346, 348, 358, 360, 369, 388, 390, 929, 944
FERMOR, L.: 497
FERNALD, M.L.: 780
FERNHOLZ, Erhard: 846
FÉRON: 104
FERRAIS, Galileo (1847—97): 323
FERRIÉ, general Gustave (1868—1932): 267—268, 529
FERRIER, A.: 25
FERSMAN, Alexandre E. (n. 1883): 484, 496—498, 504
FERT, C.: 285
FESHBACH, H.: 361
FESSARD, Alfred (n. 1900): 668, 831
FESENKOV, V.: 498
FETTERMAN, G.H.: 881
FEULGEN, R.: 790
FEYEL: 652
FEYNMAN, R.P.: 145, 383, 391
FIBIGER, Johannes (1867—1928): 856, 885
FICK, Adolph (1829—1901): 828
Fidji, insulele: 791
FIELDING, Unna.: 655
FIERZ, Markus (n. 1912): 175
FIESER, Louis Frederick (n. 1899): 428
FIESSINGER: 648
FIESSINGER: 835
FILATOV, Nils F. (1847—1902): 882
FILATOV, Vladimir P. (n. 1875): 916, 936
FILDES, P.: 435, 633
FILIP, N.: 733
FILIPESCU, Miltiade: 738
Filipine: 695
FINDLAY, G.M.: 864
FINETTI, Bruno DE: 92, 107
FINLAND: 869
Finlanda: 461, 504, 745
FINLAY, Alexander C. (n. 1906): 894
FINLAY, Carlos Juan (1833—1915): 949

FINALY, 874
FINSEN, W.S.: 523
FINSLER, Paul (n. 1894): 89
FIROR: 855, 898
FISCHBERG: 717
FISCHER, C.A. Hugo: 786
FISCHER, Emil (1852—1919): 430, 432, 617, 780
FISCHER, Franz (1877—1947): 436
FISCHER, F.G.: 644
FISCHER, Hans (1881—1945): 617, 647, 652, 772
FISCHER: 824
FISCHER, Eileen E.: 811
FISCHER, Ronald Aylmer Sir Ronald FISHER (n. 1890): 92, 94, 96—98, 102, 103, 109—111, 126, 694, 714, 719
FITTING, Hans (n. 1877): 756, 778
FITZGERALD, George Francis (1851—1901): 159, 255, 257
FIZEAU, Hippolyte (1819—96): 165, 227,
FLACK, Martin William (1882—1931): 653
Flagstaff: (U.S.A.): 532, 540, 596
FLAHAULT, Charles (1852—1935): 797, 800
FLEISCHER, Max: 802
FLEISHMANN: 835
FLEMING, Sir Alexander (1881—1955): 435, 809, 879, 892
FLEMING, John Ambroise (1849—1945): 263, 266
FLEMMING, Williamina P. (1857—1911): 561, 570
FLEROV, G.N.: 348, 422
FLETCHER, Harvey (n. 1884): 123
FLETCHER, Sir Walter Morley (1873—1933): 654
FLEXNER, Simon (1863—1946): 890
FLINT, R.F.: 744, 751
FLORESCU, M.: 448
FLOREY, Sir Howard Walter (n. 1898): 435, 892
FLORIN, R.: 785
FLORKIN, Marcel (n. 1900): 624, 723
FLORMAN, A.L.: 881
FLORY, L.: 283
FLOURENS, Pierre (1794—1864): 669
FLÜGGE, Siegfried (n. 1912): 352
FOCK, Vladimir (n. 1898): 308
FOERSTER, Otfrid (1873—1941): 668, 914
FOERSTER, von: 116
FOIX, Charles (1882—1927): 873, 875
FOK, Vladimir A. (n. 1898): 936
FOKKER, Adriaan D. (n. 1887): 314
FOLKERS, Carl: 848
FØLLING, Ivar A. (n. 1888): 842, 875
FOLLISTER: 614
Folsum: 752
FONBRUNE, Pierre, DE (n. 1901): 614, 673
Fondul Internaţional de Ajutor al Copilului: 868
FONTAINE, Maurice (n. 1904): 704
Font-de-Gaume, peştera de la: 752
Fontéchevade, peştera de la: 745
FORBER: 879
FORBES, A.: 116
FORBUSH, R.: 538
FORD, G.E.: 721
FORD, R.V.: 898
FOREGGER: 911
FORESTIER, Jacques (n. 1890): 824, 863, 870
FORLANINI, Carlo (1847—1918): 872
FORSELL: 824, 909
FORSHAM: 867
FORSSMAN: 842
FORSSMANN, Werner (n. 1904): 828
FOSBERG, F.R.: 793
FOSHAY, Lee (n. 1896): 881
FOSTER, A.S.: 784
FOSTER, Sir Michael (1836—1907): 670
FOUCAULT, Léon (1819—68): 170, 212
FOUQUÉ, Ferdinand (1828—1904): 492, 505
FOURÈS-BRUHAT, Mme: 75
FOURIER, Joseph (1868—1830): 38, 49—50, 60, 62, 83, 94—95, 99, 218, 269, 327
FOURNEAU, Ernest (1872—1949): 617, 895
FOURNIER, Jean-Alfred (1832—1914): 895
FOVEAU DE COURMELLES: 909
FOWLER, Alfred (1868—1940): 547, 575, 577
FOWLER, Ralph Howard (n. 1889): 289, 299, 580—581
FOWLER: 243, 478
FOWLER: 832
FOX: 721
FOX: 891
FRÄNKEL, Felix: 851
FRAENKEL: 660, 854
FRAENKEL-CONRAT, H.: 780
Franţa: 92, 129—131, 133, 259, 278—279, 284, 318—319, 333, 339, 347, 366, 373 456, 471, 476, 483, 493, 499, 510, 512, 602—603, 666, 668, 676 700, 702 705, 734—735, 745, 750, 752, 782, 795, 799, 815, 824—825, 828, 833, 853, 864—865, 872—874, 895, 903, 909, 914—915, 927—928, 953, 956, 969
FRANCILLON-LOBRE, Mme: 825
FRANCK, F.: 860

FRANCK, James (n. 1882): 161, 221, 265, 318, 944
FRANCK, J.: 772
FRANK, Alfred Erich (n. 1884): 655
FRANK, F.C.: 482
FRANK, Ilya M. (1908): 316
FRANKE: 898
FRANKEL: 27
FRANKEN, P.: 293
FRANKLIN, Benjamin (1706—90): 255
FRANKLIN, Edward Curtis (1862—?): 406—407
FRANKLIN, K.L.: 603
FRANZ, Rudolph (1827—?): 197, 299
FRANZ, S.G.: 489
FRANZ: 693—694
FRASER: 710
FRAUNHOFER, Joseph von (1787—1826): 583
FRAZER: 864
FRAZIER, Charler H. (1870—1936): 914
FRÉCHET, Maurice (n. 1878): 33, 52—53, 79, 81—83, 92, 98, 104
FRÉDÉRIC, J.: 614
FREDERICHS: 216
FREEDERICKSZ: 478
FREEMAN, Mavis: 882
FREEMAN, John (1877—1926): 843
FREDHOLM, Erik Ivar (1866—1927): 73, 78
Fréhel, capul: 700
FRÉMONT: 828
FRÉMY, abatele P. (1880—1944): 807
FRENCH, C.S.: 772
FRENKEL, A.W.: 775
FRENKEL, J.I. (n. 1894): 291, 299, 361
FRENKEL: 882
FRESNEL, Augustin (1788—1827): 139, 143, 148, 157, 165, 285
FREUD, Anna: 877
FREUD, Sigmund (1856—1939): 876—877
FREUDENBERG, Karl (n. 1886): 431, 433
FREUDENBERG: 842
FREUND, Leopold (1868—1944): 908
FREUNDLICH, H.K.: 409
FREVEL: 195
FREY, Walter (n. 1884): 897
FREY-WISSLING, A.: 789
FREID: 899
FRIEDEL, Charles (1832—99): 499
FRIEDEL, E.: 478
FRIEDEL, Georges (1865—1933): 478—479, 481, 490, 499
FRIEDEL, H.: 759
FRIEDELL: 909
FRIEDLANDER, M.H.G.: 639
FRIEDMANN, Alexandre A. (1888—1925): 598
FRIEDMANN: 851
FRIEDRICH, E.: 488
FRIEDRICH, Walter (n. 1883): 218, 474
FRIEDRICHS, Kurt (n. 1901): 77, 82
FRISCH, Karl von (n. 1886): 673, 704, 707, 813
FRISCH, Otto Robert (n. 1904): 344, 346
FRISH, R.: 93, 100
FRITSCH, F.E.: 783, 806—807
FROBENIUS, Ferdinand Georg (1849—1917): 33
FRODA, Al.: 134
FRÖHLICH, Herbert (n. 1905): 293, 309
FRÖHLICH: 189
FROMAGEOT: 857
FROMM: 895
FROSCH, Paul (1860—1928): 634, 839
FROST, F.H.: 787
FRYKOLM: 862
FUBINI, Guido (1879—1945): 88
FUCHS: 898
FULLER, R.C.: 776
FULTON, John Farquhar (1899—1960): 913
FUNK: Casimir (n. 1884): 439, 844, 846
FUOSS: 290
FURON, Raymond: 466, 491, 511, 722, 800
FURSTENAU: 826
FURTH: 883
FURTWAENGLER: 459

GABE: 686
GABOR, David: 111, 270, 285
GABOS, Zoltan: 393
GABRIEL: 713
GADDUM, John Henry (n. 1900): 667, 904
GADOW, H.: 701
GAEDE, Wolfgang (1878—1945): 267
GAERTNER, August A.H. (1848—1934): 880
GAFFRON, H.: 771, 776
GAGARIN, Iuri A. (n. 1934): 937
GAGNAN, E.: 696
GAGNEPAIN, F.: 795
GAGNEU: 713
GAIJO: 116
GAILLOT, Jean-Baptiste (1834—1921): 533
GALAMBOS: 669
GALEN, Claudini (129—201?): 953
GALILEO, Galilei (1564—1642): 212, 612
GALISSOT, F.: 186
GALIȚIN, Boris B. (1862—1916): 465, 503

GALOIS, Evariste (1811—1832): 32, 69, 84
GALSTON, A.W.: 758
GALTON, Sir Francis (1822—1911): 694, 719, 721
GALVANI, Luigi (1737—98): 139
GAMBIER, Bertrand (n. 1879): 65
GAMBLE, J.L.: 834
GAMOW, George (n. 1904): 149, 339—340, 360, 580—581
GAMS, Helmut: 746, 797
GARABEDIAN, Carl A.: 60
GARCIA, Manuel (1805—1906): 827
GARCIA: 825
GARDING: 75
GARDNER, G.: 877
GARDNER: 365
GARDNER: 836, 870, 891
GARNER, W.W.: 758
GARNIER, René (n. 1887): 64, 65, 68, 74, 87
GARNIER: 613
GARROD, Dorothy, A.E. (n. 1892): 719, 749
GASCH: 898
GASKELL, Walter Holbrook (1847—1914): 668
GASSER, Herbert Spencer (n. 1888): 666
GATENBY: 687
GATES, R.R.: 788
GATTERMANN: 478
GAVĂT, I.G.: 448
GAU, Émile: 71
GAUBERT, Paul (n. 1865): 478, 481, 483
GAUCHER, Ph. Ernest (1854—1918): 868
GAUDEFROY, Christophe: 481, 483
GAUDICHAUD-BEAUPRÉ, Charles (1789—1864): 781, 950
GAUDIN, Marc-Antoine (1804—80): 486
GAUDRY, Albert (1827—1908): 736
GAÜMANN, Ernst Albert (n. 1893): 810
GAULARD: 323
GAUSS, Carl Friedrich (1777—1855): 32, 40, 85, 467, 528, 550
GAUSSEN, Henri (n. 1891): 735, 800, 804
GAUTHERET, Roger (n. 1910): 755, 758
GAUTIER, Marthe: 843
GAVAUDAN, N.: 788
GAVAUDAN, Pierre: 788
GAY: 194
GEDDA: 721
GEER, Gerhard de (1858—1943): 744
GEFFROY: 96
GEIGER, Hans (1882—1945): 334, 336
GEIGER: 693
Geigy, Societate: 437
GEIGY: 686
GEITEL, Hans Friedrich (1855—1923): 263, 332, 334, 335
GEITLER, L.: 807
GELEI, J. von: 680
GELERNTER, H.: 128
GELL-MANN, M.: 376, 377
General Electric, Societate: 303
Genova: 826
Geneva: 323, 365—366, 379—721, 795, 829; v. și C.E.R.N.
GENGOU, Octave (1875—1957): 632, 664, 891
GENKEI, Nakane: 974
GENNES, Lucien De (n. 1892) : 826
GENTNER, Wolfgang (n. 1906): 342
GEOFFROY SAINT-HILAIRE, Étienne (1772—1844): 735
GEOFFROY-SAINT-HILAIRE, Isidore (1805—61): 645
GEORGE, F.H.: 127
GEORGE: 879
GERAGHTY, John T. (1876—1924): 862
GÉRARD: 652
GERDIEN, Hans (1877—1951): 235
GERICKE, W.F.: 778
GERLACH, Walter (n. 1889): 221, 244, 251
GERMAIN, Paul: 76
Germania: 92, 129, 279, 333, 399, 403, 408, 413, 423, 425, 430—431, 433, 436, 439, 460, 476, 502, 535, 602, 668, 693, 698, 728, 739, 743, 749, 762, 772, 782, 788, 800, 832, 842, 853, 866, 908, 912, 914, 925, 926, 959
GERMER, Lester Halbert (n. 1896): 148, 285, 477
GESCHWIND: 320
GESELL, A.: 877
GESELL, Robert (n. 1886): 652
GEVREY, M.: 73, 75
GEY: 630, 883
Ghana: 865
GHEDINI, G.: 829
GHELFAND, I.M. (1913): 38, 83, 104, 131, 936
GHELFOND, O.A.: 26
GHERMANESCU, Mihai-I. (n. 1899): 59
GHINSBURG, V.: 320
GHIORSO, A.: 421
GHEORGHIU, C.V. (1894—1957): 445
GHEORGHIU, Constanța: 447
GHEORGHIU, Tr.: 734
GHEȚIE, V.: 736
GHIMPU, V.: 734
GHIȚĂ, S.: 734
GHYKA, Matilda: 23
GIANNINI, G.: 235
GIAO: 101

GIARD: Alfred (1846—1908): 684
GIAUQUE, William F. (n. 1895): 233
Gibraltar: 749
GIBBS, Owen Stanley (n. 1898): 873
GIBBS, Josiah Willard (1839—1903): 141, 230, 233, 235, 401, 480
GIBBS, William Edward (n. 1889): 323
GIERKE, Edgar von (n. 1877): 842
Gif-sur-Yvette: 698, 769
Gifu: 973
GIGLI, Leonardo (1866—1908): 913
GILBERT: 909
GILKEY, Miss H.: 812
GILLESPIE: 848
GILLIES, J.G.: 653
GILMORE, P.C.: 128
GINI, C.: 92, 104
GINSBURG, V.I.: 602
GIOSAN, N.: 734
GIRARD: 853
GIRAUD, Georges (n. 1889): 61, 73
GIROIRE, 879
GIROUD, P.: 882
GIROUX: 891
GISIN: 692
GIULIANO, V.A.: 123
GIURGEA, Margareta: 202
GLAESSNER: 679
GLAGOLEVA-ARKADIEVA, A. Alexandra A. (n. 1884): 275
GLANGEAUD, Louis: 494, 505, 514
GLANZMANN: 858
GLASER, Donald A. (n. 1926): 379
GLASER, Walter (n. 1906): 284
GLASER: 831
GLEASON, H.A. : 797
GLEASON: 38
GLÉNARD, Roger: 652
GLENDENIN, L.E. : 420
GLENN: 836
GLEY, Eugène (1857—1930): 657, 849
GLICK, D. : 644, 654
GLINKA, H. : 797
GLIGOR, V. : 734
GLOCKER: 826
GNEDENKO: 96
GOCKEL, Albert (n. 1860): 367
GODEAUX, Lucien (n. 1887): 64, 88
GODEMENT, Roger : 39
GOEBEL, Karl E.R. von (1855—1935): 782, 802
GÖDEL, Kurt: 27, 115, 132
GOEPPERT-MAYER, Maria (n. 1906): 355
GOETHE, Johann Wolfgang (1749—1832): 785
Göttingen: 433
GOETZ: 826
GOFMAN: 861
GOGUEL, Jean: 509
GOLAY: 218
GOLDACRE, R.: 119
GOLDBACH Christian (1690—1764): 25
GOLDBERG, L. (n. 1913): 578, 582
GOLDBERGER, Joseph (1874—1929): 830, 847, 901
GOLDBLATT, Harry (n. 1891): 861, 865
GOLDENBERG: 861
GOLDHABER, M.: 343, 390
GOLDICH: 504
GOLDSCHMIDT R.B. : 689, 713, 716, 718, 727
GOLDSCHMIDT, Victor Moritz (1888—1947): 482, 486—487, 490, 497, 504
GOLDSMITH, M. : 640
GOLDSTEIN, Eugen (1850—1930): 295
GOLDSTEIN, M. : 657
GOLDSTEIN: 859
GOLDSZTAUB, S. : 480
GOLGI, Camillo (1844—1926): 613, 666
GOLGOȚIU, T. : 447
GOMBERG, Moses (n. 1866): 404, 430
Go-min-dan: 969
GOMOIU, M.T. : 695
GOMORI: 622
Gondwana: 701
GONCEAROV: 59
GONIN, Jules (1870—1935): 914
GOOD, R. : 801
GOOD, William E. : 294
GOODALE, Hubert D. (n. 1879): 710
GOODRICH, Edwin S. (1868—1946): 735
GOODRICKE, John (1764—86): 557
GOODPASTURE, Ernest William (1886—1960): 839, 881
GOODSPED: 719
GOPPERT: 842
GORDON: A.H. : 415
GORDON, J. : 296
GORDON, W. : 279
GORDON: 684
GORDON: 833
GORGAS, William Grawford: 891
Gorki (U.R.S.S.): 933
GORLIN: 828
GORTER, Cornelis Jacobus (n. 1907): 249
GOSSE, René: 71
GOSSET, Antonin (1872—1944): 903
GOTCH Sir Francis (1856—1913): 669
GOTHAN, Wakter (1879—1954): 507
GOTTLIEB, I. : 392
GOUDSMIT, Samuel A. (n. 1902): 148, 221, 244, 399
GOULD, R. : 316—317
GOULIER, Charles M. (1818—91): 464

GOUNELLE, H. : 822
GOURSAT, Edouard (1858—1936): 53, 70, 88
GOURY, G. : 743, 753
GOUY, Georges (1854—1926): 230
GOVAERTS: 862, 868
GRAAF, Reinier DE (1641—73): 854
GRABAR, Pierre: 833
GRAEBNER, P. : 796
GRAEFE, Friedrich von (1828—70): 915
GRAF, Anton (n. 1901): 460
GRAFE-HUNTER, J. de : 463
GRAHAM, Evarts A. (n. 1883): 825
GRAHAM, S. : 871
GRAHAM: 650
GRAHAM: 912
GRAMME, Zénobe Th. (1826—1901): 322
GRAMONT, Antoine A. de (1861—1923): 489
GRAND'EURY, Cyrille (1839—1917): 785
GRANDIDIER, Alfred (1836—1921): 950
GRANDIDIER, Ernest (1833—1912): 950
GRANDJEAN, François (n.1882): 478
GRANDT: 850
GRANIT, Rayner (n. 1900): 210, 669
GRANT, Ronald Th. (n. 1892): 904
GRASSÉ, Pierre-P. (n. 1895): 614, 674, 676, 678, 681—682, 703, 705—706 727
GRASSE, DE: 297
GRASSMAN, W. : 833
GRAUERT, Hans: 36, 64
GRAVIS, A. : 782
GRAY, J.A. : 339
GRAY: 826, 909
GRAY: 833
Graz: 418
Grecia: 953
GREEN, H.: 313
GREEN, George (1793—1841): 75
GREEN: 121
Green Bank: 603
Greenwich: 527, 530
GREENWOOD, G. : 485
GREGG, Sir Norman MCALISTER: 881
GRÉGOIRE, V. : 785, 788
GREGOR, I.W. : 794
GREGOR: 719
GREGORY, William K. : 701, 738
GREGORY: 824
GRÉHANT, Nestor (1838—1910): 837
GRENET: 465
GRENIEWSKI, H. : 120
Grenoble: 698
GRÉVY, Auguste (n. 1865): 62
GRIFFITH, A.A.: 482
GRIFFITH, Frederick (1879—1941): 879
GRIFFITH, Harold R. (n. 1894): 905
GRIFFITH: 53
GRIFFITH: 717
GRIFFITHS, J.: 251
GRIGGS, D.: 509
GRIGNARD, Victor (1871—1935): 427
GRIGORIEV, N.: 491
GRIGORIEV, P.: 499
GRIGOROVICI, R.: 202
GRIMM, Hans G. (n. 1887): 487
GRIMSDALE, P.L. : 127
GRIMSON: 861
GRIMSTONE: 681
GRISEL: 879
GRIVET, Pierre: 270
GRÖCH, H. : 60
Groenlanda: 739, 752
GROLLMAN: 855
GROPȘEANU: 448
GROS: 826
GROSS, B. : 314
GROSS, Robert Edward (n. 1905): 860, 912
GROSS: 852
GROSZ: 853
GROTH, Paul H. (1843—1927): 490
GROTHENDIECK, Alexandre: 41, 83, 90
GROUILLER, Henri (n. 1889): 560
GROVE: 328
GRUBE: 886
GRUBENMANN, Ulrich (1850—1924): 493
GRUBER, Max (1853—1927): 663
GRÜNEBERG: 720
GRÜNER, J.W.: 479, 497
GRUETER: 852
GRUMBACH, Mlle: 872
GRUMKE: 897
GRUNBERG, E. : 896
GRUNDY: 115
GRUNEISEN: 197
GRUNMACH, E. : 669
GRUNOW, G. : 809
GRUTER: 881
GSELL: 880
GUARNIERI, Giuseppe (1856—1918: 838
GUDERNATSCH, J.F.: 659
GUÉNARD: 278
GUÉNIOT, Alexandre (1832—1935): 895
GUÉRIN, M.: 884
GUÉRIN, Camille (1872—1961): 890
GUESER: 827
GUEST: 834, 850, 898
GUICHARD, Marcel (n. 1873): 489
GUIGNARD, Léon (1852—1928): 787
GUILBAUD, Georges Th.: 107
GUILLAIN, Georges (1876—1961): 875
GUILLAUD, Charles: 248
GUILLAUME, Paul (n. 1878): 705
GUILLEMIN: 857

GUILLERMOND, Alexandre (1876—1945): 789, 816
GUINIER, André: 237, 285, 419
GUINIER, Philibert (1876—1962): 746
GUITERAS, Juan: 939
GULLSTRAND, Allvar 1862—1930): 210, 669, 832
GUMBEL, E. J. : 96
GUNDERSEN, A. : 786
GUNTHER: 847
GUNTZ, Ch. : 824
GUPPY, H.B. : 799
GUREVICI: 276
GURNEY, Ronald W. : 339
GURVITSCH, A. : 643
GUSTAFSSON, A. : 814
GUTENBERG, Beno (n. 1889): 466
GUTENMARKER: 124
GUTHNICK, Paul (1879—1947): 524, 552, 561
GUTMAN: 824
GUTMANN: 832
GUTHRIE, Frederick B. (n. 1861): 263
GUTTON, Camille (n. 1872): 278
Guyanele: 511
GUYE, Charles-Eugène (1866—1942): 158
GUYÉNOT, Émile (1885—1963): 614, 710, 855
GWYNNE-VAUGHAN, Helen Ch. J. (n. 1879): 810

HAAG, Jules (1882—1953): 68
HAAGEN-SMIT, A.J. : 757
HAAR, Alfred (1885—1933): 38, 87
HAAR, Ter: 582
HAAS, Wander J. DE (1876—1960): 243, 245
HAAS-LORENTZ, Mme, G. DE: 271
HABANN: 278
HABEL, Karl (n. 1908): 881
HABER, Fritz (1868—1934): 401, 419
HABERLANDT, Gottlieb (1854—1939) 755
HADAMARD, Jacques (1865—1963): 24, 27, 56, 60, 67, 68, 71, 74, 78—80
HADORN, 713, 717
HAECKEL, Ernst H. (1834—1919): 692
HAEFF, A. : 278, 283, 318
HÄGG, Gunnar (n. 1903): 195
HAENISCH: 824
HAFSTAD, 353
HAGEDOORN: 710
HAGEDORN, Hans Ch. (n. 1888): 850
HAGEMAN: 650
HAGER, R.P. 800
HAHN, Hans (1879—1934): 37
HAHN, Otto (n. 1879): 332, 338, 345
HAHN, W. : 276, 317
HAIDUC, I. : 447
HALBAN, Hans von (n. 1877): 346
HALDANE, John B.S. (n. 1892): 710, 714, 719, 724, 726
HALDANE, John Scott (1860—1936): 652, 762, 837
HALE, George Ellery (1868—1938): 518, 521, 535, 539, 941
HALL, Asaph (1829—1907): 176
HALL A.D. : 794
HALL, Charles Martin (1863—1914): 423
HALL, James (1811—98): 508
HALL, J.A.: 568
HALL, John Scoville (n. 1908): 552
HALL, T. : 234
HALLIER, H.: 804
HALLIMOND, A.F. : 484, 489, 497
HALLPIKE, Charles S. : 832
HALLWACHS, Wilhelm (1859—1922) 264
HALPERN: 844, 904
HALPHEN, E. : 92, 104—105
HALPNER: 827
HAMANN, O. : 699
HAMBERG, Axel (1863—1933): 482
Hamburg: 522, 945
HAMBURGER, M. Fr. : 879
HAMBURGER: 835, 863, 870, 907
HAMEL, Georg (1877—1954): 72
HAMILL, Philip: 667
HAMILTON, Sir William Rowan (1788—1856): 33, 68, 147, 225, 261, 283
HAMILTON: 853, 865
Hamilton, Observatorul de la Mount: 566, 569
HAMIOTON: 909
HAMMARSTEN, Olof (1841—1909): 650
HAMMON, William M. (1904): 839
HAMNER, K.C. : 759
HANAU, Arthur Nathan (1858—1900): 666, 883
HANAWALT: 195
HAND, Alfred (1868—?): 868
Handford: 944
HANDLIRSCH: 675, 680
HANEMAR: 890
HANESSELER: 854
HANGER, Franklin McCUE (n. 1894): 833
HANGER: 881
HANNA, W.F. : 812
HANNING, K. : 833
Hanoi: 965—966
HANSEN, E. : 816
HANSEN, Gerhard E. (n. 1899): 364
HANSEN, N.H.: 817
HANSEN, Wilbur W. (n. 1913): 276
HANSGIRG: 423

HANSTEIN, Johannes L. (1822—1880): 784, 787
HANSTRÖM, N. : 686
HANTZCH, Arthur (1857—1935): 410
HAO WANG: 128
HARDEN, Sir Arthur (1865—1940): 621, 623, 766
HARDY, Godefroy Harold (1877—1947): 25—26, 970
HARDY, William B. : 657
HARDY: 832
HARGRAVES: 885
HARINGTON, Sir Charles Robert (n. 1897): 852
HARISCH—CHANDRA: 39
HARKER, Alfred (1859—): 493
HARKER, D. : 481
HARKINS, William (n. 1873): 579
HARMER: 674
HARNACK, Carl G. A. (1851—88): 87
HARNAPP: 901
HARO, G. : 564, 581
HARPER, K. E. : 124
HARPER, Robert Almer: 811
HARRESS: 170
HARET, Spiru : 134
HARRIS: 857
HARRISON, H.E. : 837
HARRISON, Ross Granville (1870—1959): 615, 629, 667, 829, 839
HARRISON: 705
HARRISON: 835
HARROP: 836
HART, E.B. : 439
HARTIRET: 834
HARTLEY, Ralph (n. 1888): 104, 110, 112, 307
HARTLINE, Haldan Keffer (n. 1903): 210, 669
HARTMANN, P. : 481
HARTMANN, Jahannes F. (1865—1936): 566—567
HARTMANN, M. : 815
HARTMANN: 689
HARTMANN: 855
HARTOGS, Friedrich (n. 1874): 58, 63
HARTREE, Douglas (n. 1897): 228, 278, 308, 315
HARTREE, E.F. : 763
HARTRIDGE, Hamilton (n. 1886): 652
HARTWIG, Ernst (1851—1923): 560
Harvard, Universitatea (Cambridge, U.S.A.): 252, 366, 395, 787, 795, 805
Harvard, Observator: 523, 544, 548—549, 552, 560
HARVEY, B.G. : 422
HARVEY: 831
Harwell (G.B.): 366
HASKELL: 705
HASAN, G. : 736
HASS, G.M. : 881
HASSE, Helmut (n. 1898): 39, 130
HASSE: 668
HASSID, W.Z. : 768
HASSLINGER: 827
HATCHER, H. Ch. : 114
HATSOPOULOS, G. : 324
HAUDEK, Martin (1880—1931): 824
HAUENSCHILD: 688
HAUPT, Otto (n. 1887): 91
HAUPTMANN: 194
HAUS: 306, 317
HAUSDORFF, Felix (1868—1942): 33, 133
HAUSER, C. : 825
HAUTANT: 909
Haute-Provence, observatorul din: 521, 524
HAÜY, René-Just (1743—1822): 481, 490
Havana: 949
HAVENS: 864
Havai: 587
HAWORTH, Walter Norman (1883—1949): 428, 431—432, 616, 849
HAXEL, Otto (n. 1909): 355
HAYASCHI, T. : 761
HAYASHI, Michitomo: 874
HAYASHI, Tsuruichi (1873—1935): 53
HAYEM, Georges (1841—1933): 858
HAYES, A.O. : 497
HAYES, William : 715
HAYFORD, John F. (1868—1925): 457—458
HAYMAN, W.K.: 58, 60
HAYNES: 828
HAYS, D.G.: 124
HAZARD: 905
HAZEN: 894
HDRLICKA, Ales (1869—1943): 751
HEALY: 909
HEATH, O.V.S.: 780
HEAVISIDE, Oliver (1850—1925): 76, 255, 269, 272, 327
HEBERER: 727
HECKMANN, Otto (n. 1901): 599
HEFFNER: 306
HEGER, Miss: 567
HEGLER: 879
Heidelberg: 355
HEIDER, Karl (1856—1935): 691
HEIL, A. : 276
HEIL, O. : 276
HEILAND, Carl (n. 1899): 503
HEILIG, R.: 898
HEIM, Roger (n.1900): 700, 793, 809, 811

HEINE, Jacob von (1799—1879): 874
HEINE, F.: 211
HEINROTH: 703
HEINTZ, A.: 672
HEISENBERG, Werner (n. 1901), 148, 149—150, 152, 222, 228 246—248 251, 381—382, 391, 399, 418, 487, 945
HEISING. Raymon: A. (n.1888): 269
HEISKANEN, Weikko A.)n. 1895): 461
HEITLER, Walter (n. 1904): 149, 246, 368, 400, 418, 487
HEITZ, Emil: 788—789
HEITZ-BOYER: 864
HEIWINKEL: 824
HELHERINGTON: 867
HELLER, R. : 778
HELMERT, Robert (1843—1917): 461, 464
HELMHOLTZ, Hermann von (1821—94): 187, 254, 290, 401, 519, 579, 827, 832
HELMHOLTZ: 864
HELMSWORT: 863
HENCH, Philip Showalter (n.1896): 856, 899—900
HENDERSON, Yandell (1873—1944): 837
HENDERSON: 126
HENDRICKS: 894
HENERY-LOGAN, K.R. : 435
HÉNIN S.: 496, 499
HENKING: 709
HENNINGS, P. : 810
HENOCH, Eduard H. (1820—1910): 886
HENRI-MARTIN, Mlle G. : 745, 749
HENRY, Joseph (1797—1878): 938, 946
HENSEL, Kurt (1861—1941): 39—40, 41
HENSEN: 668
HENSON, W. : 650
HERBIG. George Howard (n.1920): 564, 581
HÉRELLE, Félix D' (1873—1949): 634
HERGET, Paul (n. 1908): 533.
HERGLOTZ, Gustav (1881—1953): 75
HERLANT: 658
HERLANT-MEEVIS, H. 688, 690
HERMANN, Carl Heinrich (n. 1898): 476
HERMITE, Charles (1822—1901): 63
HÉROUARD: 675
HÉROULT, Paul-Louis-T. (1863—1914): 423
HERPIN, André: 193, 233, 413, 485
HERRIOT. D. : 321
HERRMANN, Karl (n. 1892): 478
HERSCHEL, William (1738—1822): 594
HERSHEY: 716
HERTER, K.: 702
HERTIG, Arthur T. (n. 1904): 641
HERTWIG, Richard (1850—1937): 615, 631
HERTWIG, Oscar (1749—1822): 638
HERTZ, Gustav (n. 1887): 161, 221, 265, 318
HERTZ, Heinrich (1857—94): 217, 255, 264, 268, 318
HERTZ, Saul (n. 1905): 853
HERTZSPRUNG, Ejnar (n. 1873): 519, 545, 551, 553, 555, 558, 562
HESS, Alfred Fabien (1875—1933): 845
HESS, Victor Franz (n. 1883): 367
HESS, Walter Rudolf (n. 1881): 655, 668
HESS: 58
HESS: 702
HESS: 908
HESSE, C. von: 669
HESSE, Richard: 693, 701
Hestmonceux: 530
HEUYER: 877
HEVESY Georg von (n. 1885): 332, 396, 421, 489, 909
HEWISH, A.: 604
HEWITT: 897
HEY, J.S. : 536, 601, 603
HEY, Max H. : 499
HEYMANN: 909
HEYMANS, Corneille (n. 1892): 653
HEYMONS: 685
HEYN, A.N.J.: 756
HEYROVSKY, Jaroslav (n. 1890): 411
HEISEY, W.M.: 796
Hijaz: 952
HIJMANS Van DEN BERGH, Albert A. (n. 1869): 835
HILBERT, David (1862—1943): 26—27, 32, 38, 57, 68, 77—78, 87, 130, 189
HILDEBRANDT, Fritz (n. 1887): 854
HILDITCH, Thomas Percy (n. 1886): 432
HILL, Archibald Vivian (n. 1886): 120, 654, 664, 668, 837
HILL, George William (1838—1914): 533
HILL, Robin: 617, 768, 773—773
HILL, Miss: 679
HILL: 855
HILL: 874
HILLE, Carl Einar (n. 1894): 92
HILLEBRAND William Francis (1853—1925): 854
HILSCH, Rudolf (n. 1903): 303
HILTNER, William A. (n. 1914): 568
Himalaia: 522
HIMMEL, Hans (n. 1897): 481
HINCIN A.J. : 49, 92, 95—96, 100, 104, 111
HINKS, Arthur Robert (1873—1945): 526
HINSEY, J.C. : 116
HINSHELWOOD, Sir Cyril Norman (n. 1897): 404
HINTZE, Carl A.F. : 489

HIONG: 58
HIPPEL, Arthur von (n. 1898): 198
HIPPEL, Eugen von (1867—?): 873
HIPPOCRATE (Ve—IVe s. av. J.—C.): 953
HIRMER, M. : 786, 802
Hiroshima: 162, 347, 883, 943, 973
HIRSCH: 200
HIRSHFIELD: 316
HIRST, Edmund Langley (n. 1898): 432
HIRST, George K. (n. 1909): 839, 849
HIRZ: 652
HIRZEBRUCH, Friedrich (n. 1927): 36, 41
HIS, Wilhelm (1831—1904): 653
HITCHOCK, Frank L. (n. 1875): 126
HITLER, Adolf (1889—1945): 926
HITTORF, Wilhelm (1824—1914): 260
HJORT, Jhoan (1869—1946): 696
HLAVATÝ, Václav (n. 1894): 89
HOAGLAND, D.R. : 778, 780
HOCART, R. : 479
HOCHSCHILD: 34, 40
HODGE: 35—36
HODGKIN, Dorothy C. : 435, 848
HODGKIN, Thomas (1798—1866): 909
HODGKIN-CROWFOOT, D.: 195
HODOSAN, Tr. : 446
HOEDELFER: 909
HÖHNEL, F. von: 812
HÖNIGSCHMIDT, Otto (1878—1945): 396
HÖRMANDER: 75
HOERR, N.L.: 627
HÖRSTADIUS, Sven (n. 1898): 691
HOFER, J.W.: 879
HOFFMAN, J.D.: 368
HOFFMANN, B.: 332
HOFFSTETTER, R.: 748
HOFMANN, A.: 793
HOFMANN, K.: 852
HOFMEISTER, Wilhelm (1824—77): 783, 801, 814
HOFSTADTER, Robert (n. 1915): 350, 379
HOGUE: 691
HOHLOV: 276
HOLDEN: 617
HOLLAND, H.D.: 483
HOLLANDE, A. : 681—682
HOLMBERG, Erik (n. 1908): 556
HOLMES, Arthur (n. 1890): 492, 495, 507
HOLMGREN, Erik A. (n.1872): 75
HOLMGREN, Gunnar (1875—1954): 915
HOLODNÎI N.G.: 756
HOLST, H. : 282
HOLSTMARK, Johann Peter (n. 1894): 359
HOLTFRETER, J.: 631, 643—644
HOLTH, Sören (1863—1937): 915
HOLTHUSEN, D': 826, 909
HOLWECK, Fernand (1890—1941): 218, 460
HOLZKNECHT, Guido (1872—1931): 824, 909
HOMANS, John (n. 1877): 862
Hong Kong: 966
HOOKE, Robert (1635—1703): 192
HOOKER, Sir Joseph Dalton (1817—1911): 804
HOOVER, Herbert C. (n. 1874): 942
HOOVER, S.R.: 807
HOPF, Eberhard (n. 1902): 68, 576
HOPF, Heinrich (n. 1894): 34, 35, 43, 90
HOPKINS, B. Smith (n. 1873): 422
HOPKINS, Sir Frederick Gowland (1861—1947): 432, 439, 617, 654
HOPKINSON, John (1849—98): 323
HÔ'QUÝ LY: 965
HOREAU: 853
HORECKER, B.L. : 766
Hörmander: 75
HOROWITZ: 715
HORRAX, Gilbert (n. 1887): 914
HORSLEY, Sir Victor A.H. (1857—1916): 830, 873, 913—914
Hörstadius: 691
HORSTMANN, August F. (1842—1929): 401
HORWITZ, L.: 771
HOSTINSKY, Bohuslav (n. 1884): 92
HOTCHKISS: 718
HOUGIE: 650
HOUOT, comandantul Georges: 676
HOUSEHOLDER: 116
HOUSSAY, Bernardo Alberto (n. 1887): 861, 949
HOUSSEY: 724
HOUSTON, William V. (n. 1900): 299
HOUTERMANS, Fritz Georg (n. 1903): 580
HOVASSE, Raymond: 726
HOWARD, E.: 706
HOWELL, William Henry (1860—1945): 650—651, 667, 904
HOWILL, 839
HOYLE, Fred (n. 1915): 546
HUA LO-KENG: 971
HUBBLE, Edwin Powell (1889—1953): 179, 566, 571—573
HUBL: 688
HUCH, Al.: 446
HUCH, C.: 446
HUDSON, Claude Gilbert (n. 1881): 431—432
HUE, E.: 749
Huê: 966
HUEBNER, C.F.: 904

HUEBSCHMANN: 871
HÜCKEL, Erich (n. 1896): 235, 289, 405, 418
HUENE, F. von: 737
HÜRZELER, J.: 741
HÜET: 720
HUFF: 684
HUFFER: 554
HUFNAGEL: 860
HUGGINS, Sir William (1824—1910): 547
Hughes, Laboratorul: 321
HUGONIOT, Pierre-Henri (1851—87): 188
HUGUENARD, P.: 905
HUGUES, A. : 789
HUGUET, DEL VILLAR, E.: 798—799
HULL, Albert Wallace (n. 1880): 267, 476, 486
HULL: 682
HULT, R. : 799
HULUBEI, Horia (1896—1972).: 329
HUMASON, Milton LA SALLE (n. 1891): 564—565; 572
HUMBERT, Georges (1859—1921): 61, 64, 85, 86—87
HUMBERT, Henri (n. 1887): 791, 799
HUMBOLDT, Alexander von (1769—1859): 797—798
HUME, David (1711—76): 161
HUME-ROTHERY, William: 195, 420, 479
HUMPHREY, George C. : 439
HUMPHREY: 717
HUMPHREYS-OWEN: 480
HUND, Friedrich (n. 1896): 246, 400, 418
HUNGATE: 684
HUNT, Reid: 667, 905
HUNT: 219
HUNT: 839, 847
HUNTER, John (1728—1793): 660
HUPKA, Erich (1884—1919): 258
HUREWICZ, Witold (n. 1904): 30, 34—35
HURST: 668
HURWITZ, Adolf (1859—1919): 42
HURWITZ: 864
HUSSON, Raoul: 669
HUSTIN, Albert (n. 1888): 902
HUTCHINSON, John (1811—61): 837
HUTCHINSON, J.: 803
HUTCHINSON: 680
HUTCHINSON: 871
HUTINEL: 844
HUUS, T.: 363
HUXLEY, Julian (n. 1887): 643, 724, 726—727, 794
HUXLEY, Thomas H. (1825—95): 703, 737
HUYGENS, Christiaan (1629—95): 75
HYATT, J.W.: 445
HYDE, A.: 786
HYDE, J.L.: 768, 773
IACOB, Caius: 134
IAMS, M.: 282
I.B.M. Compania: 112, 115, 123
IBN AL-BAYŢÂR (1248): 954
Icarus (asteroid): 532
ICHIKAWA, Kokochi (n. 1887): 631, 884
I.C.S.U.: v. Consiliul Internaţional al Uniunilor Ştiinţifice.
IDDINGS: 492, 495
IDO, Kutaka (n. 1881): 880
Iezuiţi: 971
I.G. Farben, Societate: 434
IGNAT, Margareta: 393
IHDE, Aaron: 616, 626, 651, 674, 832, 844, 866, 895
Ile-de-France: 753
ILLER: 890
ILIESCU, Emilia.: 757, 759
ILIEŞ, A.: 641
Illinois: 440
INADA, Ryokichi (1874—1950): 880
INATO: 859
India: 92, 131, 467, 511, 750, 786, 924
Indieni: 793
India, oceanul: 462, 471, 695
Indochina: 795
Indonesia: 462, 513, 750, 924
INFELD, Léopold (n. 1898): 183
INGERSON, Earl: 499
INGHAM, Albert Edwuard: 25
INGOLD, C.I.: 810, 813
INGOLD, Christopher K. (n. 1893): 429
INHOFFEN, Hans Herloff (n. 1906): 436
INSHAW: 896
Institutul Curie (Paris): 966
— de Astrofizică (Paris): 602
— de Botanică Aplicată (Leningrad): 792
— de Documentare Ştiinţifică şi Tehnică (Academia de Ştiinţă U.R.S.S.): 925
— Internaţional de Statistică: 102
— Pasteur (Paris): 434, 663, 768, 927, 962
— Pasteur (Hanoï): 966
— Pasteur (Saigon): 966
— Radium (Paris): 340
— de Cercetare Ştiinţifică (Madagascar): 678
— Regal al Belgiei: 737
— Unificat de Cercetări Nucleare: 977; v. şi Dubna.
IOFFÉ, Abraham F. (1880—1960): 199, 291, 307, 476, 482, 484—485, 935
IOFFÉ, A.: 485
IONESCU, Aurel (1902—1954): 444
IONESCU, B.: 734
IONESCU, M.B.: 682
IONESCU, Maria: 446

IONESCU, Tudor: 449
IONESCU-PALLAS, N.: 392
IONESCU-ŞIŞEŞTI, Gh.: 734
IONESCU-VARO, M.: 448
Iowa State College: 423
IPATIEV, Vladimir (n. 1867): 428
Irak: 512
Irkuţk: 934
IRVIN, J.-B.: 562
IRVINE, Sir James C. (n. 1877): 432
ISĂCESCU, D.A.: 448
ISHIKAWA, H.: 25
Islam: 952, 954
ISOTOV: 458
ISRAELI: 839
Isser, valea: 745
ISTRATI, C. (1850—1918): 444
Italia: 92, 130, 666, 699, 715, 746, 807, 929
Iugoslavia: 739, 749
IVANOV, A.V.: 679
IVANOVSKI, Dmitri A.: 839
IVAŞCU, M.: 393
IVERSON, Paul (n. 1882): 829
IVES, F.E.: 672
IVES, Herbert E. (n. 1882): 168
IVY, Andrew Conway (n. 1893): 652
IWASE, Eiichi: 484

JACKSON, Chevalier (n. 1865): 824, 827, 869—870
JACKSON, Dennis, E. (n. 1878): 911
JACKSON, Herbert Spences: 811—812
JACOB, François: 618, 715
JACOBAEUS, Hans Christian (1879—1937): 827, 871
JACOBI, Carl Gustav Jacob (1804—51): 59, 61, 62, 147, 184
JACOBI, H.: 959
JACOBS, P.: 720
JACQUES, J.: 836, 854
JADASSOHN, Josef (1863—1936): 843
JAEGER: 826, 909
JAFFÉ: 911
JAGER, H. DE: 778
JAMES, A.T.: 415
JAMES, Charles (1880—1928): 422
JAMES, R.A.: 421
JAMES, C.M.: 767
JAMES, W.O.: 767
Jamshedpur: 962
JANBON: 878
JANET, Maurice (n. 1888): 70—71
JANET, Pierre (1859—1947): 876
JANKER: 826
JANKU: 882
JANSEN, Barend, C.P.: 846
JANSKÝ, Jan (1873—1912): 648
JANSKY, Karl Guthe (1905—50): 273, 601
JANSSEN, Jules (1824—1908): 523
JANSSENS, F.A.: 711, 788, 813
Japonia: 131, 471, 512, 560, 603, 679, 690, 695, 721, 760, 874, 924, 972—974
JAQUES, L.B.: 894
Jardin des Plantes (Paris) (Grădina Plantelor): 699
JARVIK, E.: 740
JASPER: 873
JASPERS, K.: 876
JASPERSON: 697
Java: 748
JAVAL: 835
JAVAN, A.: 227, 321
JAVILLIER, M.: 777
JAYLE: 836
JAZARI, al- ISMĀ'IL IBN AL-RAZZOZ̄ (XIIe—XIIIe s.): 117
JEANNEL, René (n. 1879): 699, 701, 800
JEANS, Sir James Hopwood (1877—1946): 532, 541, 581
JEENER, R.: 780
JEFEREY, Edward Ch. (1866—1952): 782, 802—803
JEFFREYS, Harold (n. 1891): 466, 526, 532
JEFFREYS: 92
Jena: 672
JENKINSON, J.W.: 642
JENNER, Edward (1749—1823): 838
JENNINGS: 682, 702
JENSEN, A.: 283
JENSEN, Carl Oluf (1864—1934): 871, 883
JENSEN, J. Hans D. (n. 1907): 355
JENSEN, J.L.W.V. (1859—1925): 62
JENSEN, P.B.: 697
JENSEN: 836
JENTZCH, Robert († 1918): 59
JESIONEK: 881
JEVAKIN: 581, 583
JICKELI, C.F.: 733
JIROVÉC, O.: 680
Jodrell Bank: 602—603, 605
JOFFÉ. V. IOFFE
Johannesburg: 523
JOHANNSON, H.: 284
JOHANNSON, K.E.: 678
JOHANSEN, D.A.: 788, 803
JOHANSSEN, Wilhelm (1857—1927): 694, 712
JOHNSEN Arrien (1877—1934): 481
JOHNSON, Harold Lester (n. 1921): 554
JOHNSON, John (n. 1887): 271
JOHNSON, W.A.: 766
JOLEAUD, L.: 511

JOLIOT, Frédéric (1900—1958): 169, 340—344, 346—348, 385, 396, 832, 853
JOLIOT-CURIE Irène (1897—1956): 344, 385, 396, 822, 927 v. și Irène CURIE
JOLLY, Justin (1870—1953): 614, 629, 673, 854
JONCHÈRES: 891
JONES, Haydn (n. 1911): 233
JONES, E.: 871
JONES: 911
JONES: 467
JONG, Anne Wilhelm K. DE (n. 1871): 194
JORDAN, Alexis (1814—97): 794
JORDAN, Camille (1838—1922): 28, 32, 62
JORDAN, E.: 113
JORDAN, Ernest Pascual (n. 1902): 222, 382
JORDAN: 104
JORPES, E.: 845
JOSEPHS: 904
JOST: 663, 854
JOUAUST, Raymond: 272, 537
JOUBERT, Jules (1834—1910): 323, 892
JOUGUET, Émile (1871—1943): 188
JOUKHOFF: 883
JOULE, James Prescott (1818—89): 139
JOY, Alfred Harrison (n. 1882): 562—563
JOYET-LAVERGNE, Émile (n. 1884): 681, 687
JUDET, Jean (n. 1905): 912
JUDET, Robert (n. 1909): 912
JUEL, Christian (1855—1935): 91
JUEL, H.O.: 811, 814
JUKOVSKI, Nicolai E.: 187, 932, 935
JULIA, Gaston (n. 1893): 58, 62, 130
JUNG, Carl Gustav (1875—1961): 876
JUNG, J.: 493, 506
JURGENS: 859

KABANE: 60
KAEHLER, Erich E. (n. 1906): 70
KÄLIN, J.: 727, 735, 741
KAHL, A.: 681
KAHLENBERG, Louis Albert B. (n. 1870): 405
KAISIN: 680
KAJANS, F.: 479
KAKEYA, Sôichi (n. 1886): 60
KALCKAR, H.M.: 767, 842
KALIN: 114
KALLMAN, F.L.: 790
KALLMANN: 350
KALMÁR, Lázló (n. 1905): 114
KALMUS: 719
KAMEN, M.D.: 768, 773
KAMERLINGH ONNES, Heike (1853—1926): 232—233, 241, 300, 308, 402
KAMMERER, P.: 724
KAN: 34
KANDLER, O.: 769
K'ANG HI, împăratul (1722): 965
KANT, Immanuel (1724—1804): 161, 581, 593—594
KAPIȚA, Piotr L. (n. 1894): 233—234, 243, 936
KAPPERS, Ariens: 735
KAPUTINSKI, A.: 498
KARCZAG: 623
KARELITZ: 907
KARL: 194
KARLSON, P.: 686
KÁRMÁN, Theodor von (1881—1963): 197, 237, 477
KARNY: 676
KARP, A.: 319
KARPENCENKO: 718
KARPLUS, Johann Paul (1866—1936): 655, 668
KARRER, Paul (n. 1889): 414, 428, 772, 845—847, 849
Karroo: 737, 739
KARSTEN, G.: 796
KARTAGENER, Manes: 870
KASAHARA: 874
KASNER, Edward M.A. (n. 1878): 53
KASTLER, Alfred (n. 1902): 297
KATER, Henry (1777—1835): 458
KATSUKI: 690
KATZ, B.: 654
KATZ: 861
KATZIN, E.M.: 858
KAUFFMANN, F.: 880
KAUFFMANN, Walther (1871—1947): 256, 258
KAUFMANN: 716
KAULA, von: 650
KAUSCHE, G.A.: 285, 773
KAWAMURA: 874
KAYDEN, H.: 897
Kazan: 250
KECK, D.D.: 794
KEEFE, J.O.: 564
KEESOM, Willem H. (n. 1876): 232—233, 308
KEETON: 865
KEHL, Raymond (1963): 441—442, 659, 672, 763, 789, 838, 849, 858, 866
KEILIN, David (n. 1887): 609, 625, 689, 763
KEITH, Sir Arthur (1866—1955): 653, 860
KEKULÉ VON STRADONITZ, August (1829—96): 394, 417
KELDÎȘ, D-na: 47

KELDÎȘ, Mihail V. (n. 1911): 935
KELL: 648
KELLER, Geoffrey (n. 1918): 580
KELLING: 827
KELLOG, V.: 942
KELLOG: 673
KELLY, Howard A. (1858—1943): 827
KELNER: 869
KELVIN, Sir William Thomson, Lord (1829—1907): 112, 575, 579
KEMPF, Paul F.F. (1856—1920): 549
KENDALL, D.G.: 100, 126
KENDALL, Edward Calvin (n. 1886): 432, 852, 855—856, 899—900
KENDREW, John Cowdry (n. 1917): 647, 654
KENDRICK: 891
KENNAWAY, Sir Ernest (1881—1958): 884
KENNELLY, Arthur E. (1862—1939): 269, 272
KENNEDY, J.C.: 421
KENNEDY: 234
KEPLER, Johannes (1571—1631): 182, 207, 518, 574
KEPTER: 836
KEREKJARTO, Bela DE (n. 1898): 62, 90
KERESZTEZY: 847
KERKLEN: 913
KERN, R.: 480—481
KERNER VON MARILAUN, Fritz: 813
KERR, J.C.: 604
KERR: 864
KERSHMAN: 873
KERST, D.W.: 364
KERVAIRE: 37
KETT, Killy: 827
Kew: 796
KEYNES, John Maynard (1883—1946): 92
KEYSTON: 899
KFOURI: 870
KHARASCH, Morris S. (n. 1895): 430
Khartoum: 178
KHILMI, G.F.: 532
KIDSTON, Robert (1852—1924): 786, 803
Kiel: 697—698
KIENBÖCK: 826
KIESSLING, W.: 772
KIHARA, H.: 788
KIKUCHI, Seishi (1855—1917): 477
KILLBURN, T.: 113, 127
KILLING, Wilhelm K.J. (1847—1923): 44, 85
KIMURA, Hisashi (n. 1870): 732, 973
KING, G.W.: 123
KING, Harold (n. 1887): 904
KINKELSTEIN: 835
KINOSITA: 884
KIOLEMENGLU: 881
KIPPING, Frederick Stanley (1863—1949): 425
KIRBY: 680, 684
KIRCHHOFF, Gustav Robert (1824—87): 141, 187, 219, 269, 284
KIRCHNER, Emil O.O. (n. 1851): 809
KIRKHAM: 713
KIRKWOOD, J.: 292, 313
KISIMOTO: 705
KISTLER: 64
KISSLING: 616
KITASATO, Shibasaburo (1852—1931): 890
KITTEL, Charles: 248, 251
KJAERGAARD: 870
KLARENBEEK, A.: 880
KLEBER, Will P.A. (n. 1906): 481
KLEBS, Georg (1857—1918): 806, 809
KLEENE, S.: 114
KLEEREKOPER, L.: 292
KLEIN, A.: 340
KLEIN, Felix (1849—1925): 84—85, 88, 89
KLEIN, M.: 877
KLEMENS: 197
KLEMPERER, Otto E.H. (n. 1899): 284
KLEMPERER, Paul (n. 1887): 885—887
KLIMONTOVICI: 318
KLINEFELTER, Harry F. (n. 1912): 720, 843
KLUIJVER, A.J.: 762, 770
KNAUER, Emil (1867—1935): 854
KNESER, Adolf (1862—1930): 68
KNIEP, H.: 812
KNIGHT: 838
KNIPPING, Paul (1883—1935): 218, 466
KNOLL, Max H.H. (n. 1897): 284
KNOOP, Franz (1875—1946): 441, 626, 781
KNOTHE: 824
KNUDSON: 913
KNUTH, P.: 813
KOBER: 836
KOCH, Fred Conrad (n. 1876): 853
KOCH, Ludwin K.A. (1850— ?): 784
KOCH, Robert (1843—1910): 630, 870
KODAIRA, K.: 36, 90, 973
KOEBE, Paul (1882—1945): 60
KÖCHER, Max (n. 1924): 61
KÖGL, Fritz (n. 1897): 757
KOEHLER, Wolfgang (n. 1887): 703
KOEHLER, W.: 672
KOELREUTER, Josef G. (1733—1806): 813
KOENIGS, Gabriel (1854—1931): 58, 62
KÖNIGSBERGER, Johann (1874—1946): 483
KÖPPEN, Wladimir (1846—1940): 744
KÖSSLER, Milos (n. 1884): 60
KOETCHET: 904
KOFÖID, C.A.: 809
KOHLER: 835
KOHLRAUSCH, Arnt L.F. (n. 1884): 669

KOHLSCHÜTTER, Ernst (1870—1942): 544
KOLCHIN, E.: 69
KOLFF, Willem J. (n. 1911): 907
KOLHÖRSTER, Werner (1887—1946): 367
KOLLER: 650
KOLMOGOROV, Andréi N. (n. 1903): 30, 50, 90, 92—93, 99—100, 104, 106, 109, 131, 188, 936
KOLOMENSKI: 316
KOLOPOV, P.N. KHOLOPOV: 564, 581
KOLTHOFF, Isaac M. (n. 1894): 411
Komarov, Institutul: 795
KOMMERELL, Viktor (1866—1947): 64
KOMPFNER, R.: 277
KOOPMAN, Bernard O.: 68
KOOPMANS, T.C.: 126
KOPAL: 558
KOPAX: 673
KOPFF, Auguste A. (1882—1960): 527
KOPP: 121
KOPROWSKI, H.: 892
KOPILOV, I.M.: 564
KORBER: 620
KOREZLIOGLU: 104
KORGINSKI, Serghei Ivanovici (1860—1900): 796
KORJINSKI, D.S.: 491, 494
KORNBERG, Arthur (n. 1918): 618, 776
KORNMANN, P.: 815
KORNMULLER: 831
KOROLEV: 123
KORSCHELT, Eugen (1856—1935): 687, 691
KOSSEL, Albrecht (1853—1927): 441, 617
KOSSEL, Walther: 221, 226, 399, 429, 481
KOSTOV, I.: 491
KOSTÎCEV, Serghei P. (1877—1931): 765
KOSZUL: 43
KOURGANOFF, Vladimir (n. 1912): 576
KOVALEVSKAIA, Sophia (1850—91): 70—71, 75
KOVALEVSKI, Alexandre (1840—1901): 689
KOVALEVSKI, Vladimir O. (1842—83): 738
KOWARSKI, Lew (n. 1907): 346, 480
KOYAMA, Yasno: 894
KOZLOWSKI: 676
KOZU, S.: 489
KOZÎREV, N.A.: 542
KRABBE: 873
KRAFT, R.P.: 563
KRAMER, G.: 704
Krapina: 749
KRASOVSKI: 458
KRAUS, Charles A. (n. 1875): 407
KRAUT, F.: 493, 497
KREBS, Hans Adolf (n. 1900): 441—442, 626, 766, 864
KREIDL, Alois (1864—1928): 655, 668
KREITMANN, L.: 698
KREMERS, H.A.: 400
KRIBS, D.A.: 787
KRICHTOFOVICI, A.N.: 786, 803
KRIES, Johannes A. von (1853—1928): 669
KRISHMAN: 683
KRISHNAN, K.S.M. (n. 1898): 962
KRISTENSEN: 880
KRISTIANOVICI: 935
KRITZMANN: 864
KROGH, August (1874—1949): 653
KROLL, William J. (n. 1889): 424
KRON, Erich (1881—1917): 524
KRON, G.: 270
KRONECKER, Leopold (1823—91): 32
KROPOTKIN, P.N.: 495
Kruger, Parc Național: 700
KRULL, Wolfgang (n. 1899): 32, 40, 130
KRUMBEIN: 506
KUBO, H.: 781
KUDO: 680
KUDRIAȚEV: 316
KÜHN: 704
KÜHN: 716
KÜHNE, Willy (1837—1900): 669
KÜHNER, R.: 811
KÜNITZ, M.: 623
KÜTZING, Friedrich (1807—93): 806
KUGELBERG: 831
KUHN, Richard (n. 1900): 414, 428, 439, 623, 772, 845, 847
KUHN: 896
KUHN-SCHNYDER, E.: 740
KUIPER, Gerard Peter (n. 1905): 180, 525, 539, 541, 555, 580, 582, 594
KUIPER, H.: 743
KUKARKIN, B.W.: 560—561
KUKENTHAL: 674
KULBACK, S.: 110
KULLENBERG: 695
KULP, L.J.: 483
KUMMEL: 827
KUNKEL: 833
Kunnûr: 962
KURATOWSKI, Kasimir (n. 1896): 30, 131
KURCEATOV, Igor V. (1903—60): 234, 348, 936
KURNAKOV, V.S. (1860—1941): 936
KUROSAWA, E.: 756, 761
KURSANOV, A.L.: 779
KURZ, Karl: 276
KUSSMAUL, Adolf (1822—1902): 827, 886
KUTCHER: 723
KUZNEȚOV, N.I.: 780
KWIETNIEWSKI: 64

KYLIN, Johan Harold (n. 1879): 808—809, 815
Kyoto: 973

LABBÉ, A.: 726
LABBÉ, Marcel (n. 1872): 837
LABORDE, A.: 332—333
LABORDE, S.: 909
LABORIT, Henri: 905
Labrador: 751
La Carniole, peştera de la: 699
LACASSAGNE, Antoine Marcellin (n. 1884): 675, 829, 883
LACOSTE, Joseph: 460
LA COUR, Dr B.: 468
LACROIX, Alfred (1863—1948): 492, 494, 496, 505
LACROIX: 646
LAENNEC, René Th. H. (1781—1826): 819, 868, 870
LAFAY: 824
La Ferrassie, peştera de la: 748
LAFFERTY, J.: 319
LAFFINEUR, M.: 602
LAGERHEIM, G.: 786
LAGRANGE, Charles (1851—1932): 532
LAGRANGE, Joseph-Louis (1736—1813): 26, 32, 79, 184—185
LAGRANGE, Pierre F. (1857—1928): 915
LAIBACH, F.: 757
LAIDLAW, Sir Patrick Playfair (1881—1940): 904
LAIGRET: 891
LAKE: 680
Lakhnau: 962
LALLEMAND, André (n. 1904): 283, 524, 552, 557
LALLEMAND, Charles (1857—?): 464
LALESCU, Traian: 134
LAM, H.S.: 793
LAM, H.J.: 802
LAMARQUE: 909
LAMB, Willis E. (n. 1913): 153, 294, 391
LAMBERT, Johann Heinrich (1728—77): 411, 593—594
LAMBERT: 829
LAMEERE, Auguste (1864—1942): 675, 680, 683
LAMERTON: 910
LAMOTHE, L. DE: 745
LAMOTTE: 711
LANCEFIELD, Rebecca C. (n. 1895): 860
LANCHESTER: 187
LANDAHL: 116
LANDAU, Edmund (1877—1938): 24, 58—66
LANDAU, Lev D. (n. 1908): 233, 248—250, 314, 936
LANDAUER: 713
LANDÉ, Alfred (n. 1888): 221, 486
LANDSTEINER, Karl (1868—1943): 620, 633, 647—648, 858, 902
LANE, Jonathan Homer (1819—80): 512
LANG, A.: 519, 575
LANG, W.H.: 759
LANG: 200
LANG: 708, 712
LANGERHANS, Paul (1847—88): 658, 849
LANGEVIN, Michel: 396
LANGEVIN, Paul (1872—1946): 161, 165, 170, 228, 240—244, 260, 286, 291
LANGLEY, John Newport (1852—1925): 655, 667—668
LANGLEY, Samuel Pierpont (1834—1906): 218, 524
LANGMUIR, Irving (1881—1957): 234, 267, 287, 310, 314, 399, 408, 429
LANNING: 646
LANKESTER, Sir Edwin Ray (1847—1929): 675
LANSING: 864
LAPICQUE, Louis (1866—1952): 666, 668, 831
LAPIN: 891
Laponia: 456
LAPLACE, Pierre-Simon (1749—1827): 88, 92, 95, 105—106, 176, 518, 581, 593
LAPOSTILLE, P.: 277
LAPPARENT, Albert DE (1839—1908): 491, 504
LAQUEUR, Ernst (1880—1947): 853
La Quina: 747
LARK-HOROWITZ, Karl (n. 1893): 303
LARMOR, Sir Joseph (1857—1942): 240, 257, 275, 315
LARRIEU, H.: 822
Lascaux, peştera din: 752
LASHINSKY, H.: 320
LASSEN: 907
LASSIEUR, Arnold: 488
LATASTE: 866
LATAYET: 718
LATIES, G.C.: 767
LATIMER, Wendell M. (n. 1893): 419
LATREILLE, André (1762—1833): 675
LATTÈS, R.: 365, 372
LATTES, Samuel (1918): 58, 62
LATTÈS: 673
LATTÈS: 829
LAUE, Max von (1879—1960): 13, 161, 218, 329, 412, 454—455
LAUNAY, C.: 878
LAUNAY, Louis DE (1860—1938): 495, 504

LAURENT, Pierre-Alphonse (1813—54): 59
LAURENT: 746
LAURENTI: 698
LAURET, G.: 822
LAURITSEN, C.C.: 357
LAVAL, Jean (n. 1900): 192, 197, 485
LA VALLÉE-POUSSIN, Charles DE (1866—1962): 24, 30, 49, 51, 73
LAVANCHY, Charles (1888—1958): 158, 168, 258
LAVERAN, Alphonse (1845—1922): 683
LAVES, Fritz-Henning (n. 1906): 195
LAVIER, G.: 822
LAVOISIER, Antoine-Laurent DE (1743—1794): 612
LOVOLEY: 849
LAVRENKO, E.M.: 797, 800
LAVRENTIEV, Mihail A. (n. 1900): 30, 63, 187, 934
LAWRENCE, Ernest Orlando (1901—58): 344, 357, 365, 944, 945
LAWRENCE, G.H.M.: 804, 806
LAWRENCE, John H. (n. 1904): 910
LAWRENCE, L.: 910
LAZANYI, A.: 734
LEAKEY, Louis Seymour B. (n. 1903): 747
LEAKEY, D-na: 747
LEAPUNOV, A.M. (1857—1917): 95, 532
LEAU, Léopold (n. 1868): 58, 62
LEAVITT, Henrietta S. (1868—1921): 561, 571
LE BEAU: 914
LEBEDEV, Peter N. (1866—1911): 219, 257
LE BEL, Achille (1847—1930): 417, 430
LEBERSON: 821
LEBESQUE, Henri (1875—1941): 27—29, 46—49, 56—57, 73—74, 82, 130
LEBLANC, Maurice (n. 1882): 323
LEBLOND: 853
LEBOUCHARD: 825
LEBOVICI, Serge: 877
LEBRUN, J.: 799
LE CHATELIER, Henry (1850—1936): 489, 496
LE CHEVALIER: 894
LECLERCQ, S.: 804
LECOMTE, Henri (1856—1934): 805
LE DANTEC, Félix (1869—1917): 724
LEDERBERG, Joshua (n. 1925): 715
LEDOUX, P.: 581
LEDOUX: 705
LEDOUX-LEBARD, René: 824
LEE, Tsung Dao (n. 1926): 388
LEFEBVRE, J.: 822, 831, 837
LEFSCHETZ, Salomon (n. 1884): 33—35, 40, 68, 86—87, 90
LE GAL, M.: 812
LEGENDRE, Adrien-Marie (1752—1833): 24
LÉGER, Louis (1866—1948): 681, 698
LÉGER: 865—866
LEGOUIX, J.-P.: 669
LE GRAND, Yves: 210, 669
LEGRAND: 411
LE GROS CLARK, Sir Wilfrid: 741
LEHMAN, Jean-Pierre: 740
LEHMANN, Jörgen (n. 1898): 896
LEHMANN, Otto (1855—1912): 478
LEHMER, Derrick H. (n. 1905): 25
LEHNERT: 312
LEHNINGER, A.L.: 768
LEIBLER, R.A.: 110
LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm (1646—1716): 112
Leipzig: 401
LEIRI, F.: 668
LEIWANT, W.: 896
LEJAY, Pierre (1898—1958): 460
LEJEUNE, Jérôme: 720, 843
LE LIONNAIS, François: 103, 663
LELONG, Marcel: 866, 871, 882
LELONG, Pierre: 64
LEMAITRE, Georges (n. 1894): 598
LEMCHE, H.: 678
LEMÉE, G.: 746
LE MÉZEC, Jean: 181, 193, 214, 218, 227, 233—234, 238, 380, 397, 403, 405, 420, 485, 552, 589
LEMIERRE, André: 863, 879
LEMMERMANN, E.: 808
LEMOIGNIC: 891
LEMOINE: 828
LEMON, H.M.: 879
LEMPERT, Juliers (n. 1890): 915
LEMS, K.: 799
LENARD, Philipp (1862—1947): 255—256, 264, 397, 926
LENCEFIELD: 878
LENÈGRE, J.: 828, 862
Léningrad: 719, 795, 933—934
LENNARD-JONES, Sir John Edward (n. 1894): 400, 418
LENNETI: 891
LENNOX, W.C.: 873
LÉNINE, Vladimir I. (1870—1924): 932—933
LEON, N.: 733
LEON: 874
LEONTIEV: 60
LÉPINE, Pierre (n. 1901): 637, 882, 892
LEPINTRE, J.: 822
LEPOINTE: 694
LE PRIEUR: 696

LEPRINCE-RINGUET, Louis (n. 1901): 169, 340, 375
LERAY, Jean (n. 1906): 34, 36, 75, 77, 82, 90
LERICHE, René (1879—1955): 646
LERIQUE: 831, 837
LERMA, B. DE: 685
LE ROLLAND, Paul: 486
LEROY, Jean-Francois: 437, 440—441, 507, 624, 628, 638, 657, 722, 806
LEROY, Pierre: 710
LERUTH, R.: 691
LESLIE: 694
LESLIE: 891
LESOURNE, J.: 107
LESTER SMITH, E. (n. 1904): 848
LESTRADET: 868
LESTRANGE, D-ra DE: 905
LE TAN VINH: 882
LETULLE: 871
LEVADITI, Constantin (1874—1953): 829, 864, 872, 880, 885
LEVAN, A.: 720, 843
LEVENE, Phoebus A. (n. 1869): 617
LE VERRIER, J.: 101
LE VERRIER, Urbain (1811—17): 175, 533
LEVI, Beppo (1875—1961): 86
LEVI, Eugenio E. (1883—1917): 64, 75, 130
LEVI-CIVITA, Tullio (1873—1941): 63, 71, 89, 130, 161, 187
LEVINE, Philip (n. 1900): 648, 683, 850, 858, 898
LEVINE: 312
LÉVY, Jacques: 451
LÉVY, Paul (n. 1886): 92, 95—96, 100
LÉVY-SOLAL, Pr: 903
LEWIS, C.M.: 773
LEWIS, Gilbert Newton (1875—1946): 230, 399, 402, 407, 425, 429
LEWIS, M.R.: 673
LEWIS, Paul A. (1879—1929): 843
LEWIS, Sir Thomas (1881—1945): 830, 904
LEWIS, W.H.: 675
LEWIS: 648
LEWIS: 713
LEWISOHN, Richard (n. 1875): 902
LEWITSKY, G.: 789
LEWY, Hand (n. 1904): 75—76
Leyda: 233, 402, 602
LEYDIG, Franz (1821—1908): 660, 853
LEYON, H.: 789
L'HÉRITIER, Philippe: 716, 717
L'HÉRITIER: 375
LHOWACZ, H.: 811
LI: 852
Liban: 953
LIBERIA: 512
LIBBY, Willard Frank von (n. 1880): 424, 508
LICHENSTEIN: 911
LICHNEROWICZ, A.: 90
LICHTENBERG, A. von (n. 1880): 825, 863
LICHTENSTEIN: 850
Lick, Observatorul: 521, 524, 527, 541, 566, 569
LIDDELL, Edward G.T. (n. 1895): 670
LIE, Sophus (1842—99): 42—43, 69, 85
LIEBEN, Robert von (1878—1913): 267
LIEBER, H.: 915
LIEBIG, Justus von (1803—72): 621
LIEBMANN, Gerhardt (1906—56): 284
LIEDE: 864
LIÉNARD: 68
LIÉNARD, Alfred-Marie (n. 1869): 316
LIFȘIȚ: 250
LIGNIER, Octave (1855—1916): 782, 803—804
Liga Arabă: 953
Liguria: 699
LILLEHEI: 913
LILLIE, Franz Rattray (1870—1947): 640, 663, 682
LILLIE, R.S.: 667
LIMA, A.: 860
Lima: 948
LIND, James: 438
LINDAHL: 691
LINDAU, Arvid (n. 1892): 873
LINDAU, G.: 810
LINDBLAD, Bertil (n. 1895): 572, 576, 579
LINDEGREN, C.C.: 810
LINDEMAN: 827
LINDEMANN, Ferdinand (1852—1939): 237, 404
LINDEMANN: 910
LINDERSTRØM-LANG, Kaj V. (n. 1896): 644
LINDGREN, Waldemar T. (1860—?): 496, 504
LINDGREN: 825, 914
LINDSLEY: 831
LINK, Karl Paul (n. 1901): 846, 904
LINLEY: 910
LINNÉ, Carl von (1707—78): 675, 794, 801
LINNIK: 25
LIONS, J.L.: 76, 82
LIOUVILLE, Joseph (1809—82): 73
LIPMAN, C.B.: 778
LIPMANN, F.: 765
LIPMANN, Fritz Albert (n. 1899): 623, 625
LIPPMAA, T.: 798
LIPSCHITZ, Rudolf O. (1832—1903): 66
LIRO, J.I.: 812
LÎSENKO, T.D. (n. 1898): 724, 759, 792

LISON, L.: 674, 829
LISEU-KUAN: 971
Lister, Institut: 439
LITEANU, C.: 448
LITS: 631
LITTELL, Frank Bowers (n. 1869): 528
LITTLE, G.C.: 716
LITTLE, G.: 602
LITTLEWOOD, John E. (n. 1885): 26, 130, 970
LIVANOV: 120
Liverpool: 366
LIVINGSTON, Milton Stanley (n. 1905): 357
LLOYD, Wray D.M. (1902—36): 891
LOBACEVSKI, Nicolai (1793—1856): 936
LOCKE: 123
LOCKYER, Sir Normann (1836—1920): 519, 579
LODGE, Sir Oliver (1851—1940): 273, 275, 600
LOEB, Jacques (1859—1924): 640, 660, 688, 702, 884
LOEB, J.: 111
LOEB, Leo (n. 1869): 665
LOEB, Leonard B.: 286
LOEB: 852
LOEFFLER, Friedrich (1852—1915): 634
LÖSCH, Friedrich (n. 1903): 59
LOEVE: 96
LOEWI, Otto (1873—1961): 667
LOEWINSON-LESSING, Franz (1861—?): 492
LÖWNER, Karl (n. 1893): 60
LOEWY, Maurice (1833—1907): 542
LOHMANN, Karl (n. 1898): 618, 623, 765
LOHMANN: 679
LOKTA, Alfred J.: 694
LOMBARD, A.: 506
LONDON, Fritz W. (1900—54): 149, 246, 309, 400, 418, 487
LONDON, H.: 309
Londra: 496, 700, 794, 827, 877, 910, 912, 941
LONG, Joseph Abraham (n. 1879): 850, 852, 854
LONGCHAMBON, Henri: 484
LONGCHAMBON, Louis: 483
LONGET, Achille (1811—71): 669
LONGINESCU, G. (1869—1939).: 444
LOOMAN, Herman: 53
LOOMIS: 829
LORD: 865
LORENTE DE NO, R.: 116, 668, 875
LORENTZ, Henrik Antoon (1853—1928): 140, 157—160, 163—164, 188, 197, 220, 240, 245, 254—255, 261—263, 291—292, 298—299, 300, 313, 325, 327, 419
LORENZ, Konrad (n. 1903): 673, 703, 705
LORENZ, Ludwig (1829—91): 232
Lorena: 497
LOSADA, M.: 775
Los Alamos, Laboratorul: 422, 944
LOSCHMIDT, Josef (1821—95): 230
LO SURDO, Antonino (1880—1949): 220
LOTSY, Jan Paulus (1867—1931): 803
LOUBATIERES, K.: 898
LOUISELL: 317
LOUTIT: 858
LOVANI: 851
LOVE, Augustus E.H. (1863—): 466
LOVELAND: 128
LOVELL, A.C.B.: 602—603
LOWELL, Percival (1855—1916): 532
Lowell, Observatorul: 540
LOWENSTEIN, F.: 267
LOWRY, Thomas Martin (n. 1874): 291, 406
LUBOSCHEZ: 824
LUCIEN: 869
LUCK: 886
LUCKWILL, L.C.: 760
LUDFORD, R.-J.: 631
LUDWIG, Carl (1816—95): 862
LUDWIG: 711
LÜDERS, Gerhart (n. 1920): 389
LÜST, R.: 582
LUHN, H.P.: 124
LUKACEVICI: 493
LUND, W.: 683
Lund: 556
LUNDBLAD, R.: 576
LUNDEGARDH, Henrik (n. 1888): 764, 768
LUNDMARK, Knut (n. 1889): 571
LUNDQUIST, S.: 312
LUNTZ: 688
LUPAŞCU, Gh.: 683
LUPEI, V.: 253
LURIA, S.E.: 636
LUTHER, A.: 806
LUTHERAN: 648
LUTTRELL, E.S.: 812
LUTZ, A.M.: 788
LUTZ, H.: 643
LUZ: 864
LUZIN, Nicolai N. (1883—1950): 27, 29, 47, 48, 50, 936
LWOFF, André: 624, 633, 680, 683, 716, 723, 814
LYELL, Sir Charles (1797—1875): 751
LYMAN, Chester Smith (1814—90): 217
LYON, Bethuel (n. 1880): 828
LYON, Mary: 728

Lyon: 427
LYONET, Pierre (1707—89): 685
LYONS, H.: 295
LYOT, Bernard (1897—1952): 520, 536, 542

MCARTHUR: 721
MCBAIN, James W. (n. 1882): 409
MAC BRIDE: 691
MACCALLUM, William George (1874—1944): 837, 849, 864
MAC CALLUM: 114
MACAROVICI, G.: 447
McCARTHY: 827
McCARTY, M.: 719, 879
McC. LEWIS, C.: 403
McCLINTOCK, B.: 711
MCLUNG, Clarence E. (1870—1946): 662, 709
McCOLLUM, Elmer Verner (n. 1879): 447, 845
MAC COWN, Theodore (n. 1908): 750
MAC CULLOCH, W.S.: 116, 121, 671, 875
McDONALD: 622
McDONALD, Observatorul: 521
MAC DOUGAL, Daniel T. (1865—1958): 703
MAC DOUGALL, D.I.: 794
McDOWELL, M.: 862
MACEWEN, Sir William (1848—1924): 873
MAC FARLANE, M.N.: 881
MACFARLANE, Robert Gwyn: 650, 720
McGEE, Lemuel C. (n. 1902): 853
McGILL, Universitatea (Montréal): 366
McGUINESS: 891
MACH, Ernst (1838—1916): 140, 160, 172, 184
MACH, R.: 863
MACH: 834
McHARGUE, J.S.: 778
MACHATSCHKI, Felix K. (n. 1895): 482, 490
MACHEBCEUF, M. (1900—52): 619, 833
McINTOSH, J.F.: 835
McINTYRE: 835
MAC KAY: 111, 127
McKELLAR (1910—60): 567
MACKENFUSS, Ralph S.: 873
MACKENSIE, K.R.: 421
McKESSON, Elmer I. (n. 1881): 911
MACKEY, G.W.: 39
MAC KINNEY, G.: 778
Mac Kinsey, compania: 127
McKINSIE: 845
MACLAGAN, Noel F.: 843
MAC LANE: 34
McLAUGHLIN, Dean Benjamin (n. 1901): 564
McLEAN, Jay (n. 1890): 904
McLEAN, Thompson, J.: 785
MACLEOD, C.M.: 718
MACLEOD, John J.R. (1876—1935): 849
MAC MALTHY: 864
McMILLAN, Edwin Mattison (n. 1907): 363
McMUNN: 763
McN. SCOTT, D.B.: 766
McRUBIN: 828
MAC WHORTER: 297
Madagascar: 739—740, 791
MĀDHAVA (VIIe s.): 960
MAECKER, Heinz (n. 1913): 235
MAGANS: 856
MAGATH, Th. B.: 850, 864, 898
MAGENDIE, François (1783—1855): 669
MAGER, S.: 446
MAGILL, Ivan Whiteside: 911
MAGITOT, André (n. 1877): 916
MAGLADERY: 831
MAGNE, F.: 815
MAGNUS, Rudolf (1865—1955): 603
MAGNUS-LEVI, Adolf, (1865—1955): 835, 853, 867
MAGUIRE, Bassett (n. 1927): 793
MAHALONOBIS, P.C.: 92
MAHESHWARI, P.: 788
MAHON: 872
MAI, G.: 757
MAIER, W.: 697
MAILLARD, L.C.: 617
MAILLET, Edmond (1865—?): 56
MAIMAN, Th.: 227
MAIN-SMITH: 226
MAIOR, A.: 393
MAIOR, O.: 446
MAIRE, René (1878—1949): 811, 816
MAISIN: 884
Majorca: 699
MAJUMDAR, G.P.: 784
MAKINO: 709
MAKSUTOV, D.D.: 215
Malayezia: 795
MALASSEZ, Louis-Charles (1842—1909): 647
MALAVARD, L.: 284
MALE, P.: 877
MALEAROV, D.: 278
MALÉCOT, G.: 100, 719
MALEILEV, V.P.: 792
MALGRANGE, Bernard: 76
MALINOVSKY: 876
MALLARD, Ernest (1833—94): 490
MALLET, G.: 865, 910
MALLORY: 865

MALMÉJAC: 851
MALMQUIST, Axel J. (n. 1882): 65, 68
MALTER, L.: 282
MANCEAUX, L.: 882
Manchester (G.-B.): 375
MANDELBROJT, Szolem: 50—51, 57—59
MANDELBROT, B.: 111, 122
MANDELSTAMM, Léonida I. (1879—1944): 935
MANDL, Felix (1892—1957): 850
MANGENOT, G.: 788—789, 799
MANGOLD, O.: 643
Manhattan Engineering District: 943
MANLEY, John J. (n. 1863): 306
MANN, F.C.: 830, 850, 864, 898
MANNHEIMER, E.: 860
MANSO: 891
MANTON, I.: 803, 808
MANTOUX, Charles (1877—1947): 870
MANWELL: 680
MANWARING: 904
MÂNZATU, I.: 392
MĂRĂCINEANU, Ștefania,: 333
MARBURG: 875
MARCELIN, René: 404
MARCHAL, Paul (1862—1942): 683, 690
MAECHAND, Émile (1852—1914): 537
MARCHAND: 865
MARCHAUD, André (n. 1887): 91
MARCHIAFAVA, Ettore (1847—1935): 858
MARCHOUX, Émile (1862—1943): 891, 897
MARCONI, Guglielmo (1874—1937): 267—268, 271—272
Margate 722
Marea Britanie (v. Anglia)
Mariane, fosa: 695—696
MARIE, J.: 836, 845, 847, 880
MARIE, Pierre (1853—1940): 851, 872
MARIE, René: 860
MARIE-VICTORIAN, Frère (1944): 795
MARIGNAC, Charles GALISSARD DE (1817-94): 422
MARINE, David (n. 1880): 853, 899
MARINES: 120
MARINELLI: 909
MARINESCU, Gh.: 734
MARINSKY, J.A.: 420
MARION: 864
MARK, L.C.: 897
MARKARIAN: 581
MARKOV, Andrei (1856—1922): 92, 94, 122
MARKOV, Andrei A. (n. 1903): 931
MARKOWITZ, William (n. 1907): 531
Maroc: 800, 953
MAROTTI, E.: 114
MARQUES: 910
MARRIAN, Guy F. (n. 1904): 854
MARRISON, Warren Alvin (n. 1896): 295, 529
MARSDEN, Ernest (n. 1889): 336
MARSH, James (1794—1846): 410
MARSH, Othniel Ch. (1831-99): 738
MARSHELL: 854
MARTEL, Thierry DE (1876—1940): 873, 913
MARTENS, Pierre (n. 1895): 788, 804
MARTIN, Archer J.P. (n. 1910): 414—415, 769, 780
MARTIN, Friedrich (1885—1951): 484
MARTIN, George Willard: 810
MARTIN L. (1864—1946): 880
MARTIN, P.J.: 485
MARTIN, W.C.: 561
MARTIN, Y.: 59
MARTIN: 631
MARTIN: 879
MARTINELLI, E.: 53
MARTLANA: 884
MARTON, L.: 285
MARTY, F.: 52, 54, 60
MARTY: 746
MARTYNOV, A.B.: 675, 680
MARX, A.: 60
MARXER: 905
MARZIN, Pierre: 181, 193, 218, 227, 233, 238, 380, 397, 403, 405, 420, 485, 552, 589
MASASTJERNA, S.A.: 487
MASCART, Jean-M. (1872—1935): 560
MASLAND: 831
MASON, 270
MASON: 504
MASON: 855
Massachusetts, Institut de Tehnologie (MIT): 279, 435
MASSÉ, Pierre: 107
MASSEVICI, A. (n. 1918): 580
Massif central: 739
MASSIOT: 827
MASTERMAN, N.: 124
MASUDA, M.: 489
MATEI, H.C.: 753
MATEI, I. (1895—1969).: 445
MATHER, K.: 710
MATHIEU, H.: 822
MATHIEU, Jean-Paul: 485
MATHIVAT: 862
MATTEUCI, Carlo (1811-68): 829
MATTHEW, William D. (1870—1930): 701, 738
MATTHEWS, Rachel: 668—669, 830
MATTHEY: 709
MATTHIAS: 310
MATTHIESEN, Ludwig (1890—1906): 197

MAUCKLY, J.W.: 113
MAUGUIN, Charles (1878—1958): 476, 478
MAUNDER, Edward Walter (1851—1928): 537
MAUPAS, Émile (1842—1916): 682
MAUPERTUIS, Pierre-Louis MOREAU DE (1698—1759): 710
Mauritania: 750
MAURY, Antoine C. de P.P. (n. 1866): 543
MAUTNER: 39
MAUVAIS, G.: 698
MAXIA: 89
MAXIMILIAN, C.: 734
MAXIMOW, Alexander (1874—1928): 630
MAXWELL, James Clerk (1831-79): 110, 117, 139—140, 166, 217, 233, 240, 257, 274, 327
MAY, Étienne: 888
MAY, J.-P.: 826
MAY, Raoul-Michel: 665
MAY and Baker, Societate: 434
MAYAUD: 706
Mayenţa (Mainz): 739
MAYER, André (1875—1956): 615
MAYER, Julius Robert von (1814-78): 139
MAYER, M.G.: 349
MAYER, O.: 134
MAYER: 680
MAYER: 896
MAYNARD, J.E.: 497
MAYNEORD: 909
MAYNORD: 827
Mayo Clinic: 885
MAYOT: 851
MAYR, Ernst: 701, 726
MAZÉ, Pierre (n. 1868): 776
MAZUR: 37
MAZURKIEWICI, Ştefan: 30
MEAD, M.: 876
MEADE, S.: 275
MEANS, James H. (n. 1885): 853
MECINIKOV, I.I. (1845—1916): 647, 663
MEDAWAR, Peter Brain (n. 1915): 665
MEDIN, Oscar (1847—1927): 874
MEDING: 864
MEDIONI: 702
Mediterană, marea: 464, 522, 695—697, 745
MEGAW: 279
MEGUSAR: 685
MEHL, Robert F. (n. 1898): 285
MEHTA, P.M.: 960
MEIER: 898
Meiji: 972
MEINEL: 530
MEISSNER, Alexander (n. 1883): 268
MEITNER, Lise (n. 1878): 161, 332, 338—339, 342, 344, 346, 385
MELCHERS, J. Georg F. (n. 1906): 760
MELDE, Franz E. (n. 1832—1901): 307
MELIN Elias (n. 1889): 810
MELLANBY, Sir Edward (1884—1955): 845
MELNIK: 874
MELOTTE, Philibert J. (1880—1961): 467, 539
MELTZER, Samuel J. (1851—1920): 828, 843
MENDEL, Gregor (1822-84): 709, 713
MENDEL, Lafayette Benedict (1872—1955): 440, 845
MENDELEEV, Dmitri I. (1834—1907): 394
MENDENHALL, Thomas C. (1841—1924): 459
MENŞOV, D.: 50—53
MENKES,I.: 641
MENTEN, M.L.: 621
MENZEIS: 678
MENZEL, D.A. (n. 1901): 578
MÉRAY, Charles (1835—1911): 52, 70
MERCANTON: 698
MERCEA, V.: 393
MERCHEŞ, I.: 393
MERCIER, R.: 886
MERILL: 876
MERLE D'AUBIGNÉ: 912
MERMAN, G.A.: 532
MERRIAN, H.J.: 879
MERRILL, Elmer Drew (1876—1956): 795
MERRILL, J.-P.: 907
MERRILL, Paul Willard (n. 1887): 563
MERING, Joseph von (1849—1908): 849
MERSENNE, Marin (1588—1648): 25
MERTON, I.:216
MESCHER: 898
MESNER, M.:283
MESNIL, Félix (1868—1938): 683
MESROBEANU, Lidia.: 880
METCALFE, C.R.: 787
METCLAFF, G.: 276
MÉTRON: 97
Meudon, Observatorul din: 523, 540, 602
MEUNIER: 828, 871
MEUSNIER DE LA PLACE, Jean-Baptiste, M.Ch. (1754-93): 85
MEUSEL, H.: 796
MEVES, F.: 613, 688, 788
Mexico: 948, 950
Mexic: 752, 949—950
MEYER, A.: 762
MEYER, Adolf B. (1840—1911): 789
MEYER, François: 742

MEYER, Jean DE (n. 1878): 849
MEYER, Lothar (1830-95): 394, 486
MEYER, Max (n. 1873): 668
MEYER: 297
MEYER: 617
MEYER: 842
MEYERHOF, Otto Fritz (1884—1951): 652—654, 765—766
MEYERS: 914
MEYNEORD: 826
MEYNIEUX, R.: 61
MEZINCESCU, Fl.: 639
MICHAELIS, Leonor (1875—1949): 621
MICHAELIS: 716
MICHAL, Aristotle D. (n. 1899): 79, 81
MICHEL, J.: 822
MICHEL, Kurt L. (n. 1909): 614
MICHELI: 858
MICHEL-LÉVY, Auguste (1844—1911): 481 492—494, 499, 505
MICHELS, Antonius (n. 1889): 202
MICHELSON, Albert (1852—1941): 14, 157, 218
MICLEA, A.: 641
MICIURIN, I.V.: (1855—1935): 792
MICIURINSK: 933
MICU, Mircea.: 392
MIE, Gustav (1868—1957): 183, 568
MIESCHER, Friedrich (1844-93): 617
MIESCHER: 854, 905
MIGEON: 836
MIGULA, W.: 808
MIHOC, Gh.: 92, 134
MIHUL, C.: 393, 547
MIKUSINSKY: 83
MILANKOVIĆ, Milutin (1879—1958): 744
MILCU, I.: 658
MILCU, Şt.: 658, 660, 664, 734, 753.
MILES, A.A.: 880
MILLER, Al.: 134
MILLER, J.C.P.: 24
MILLER, W.C.: 523
MILLER: 641
MILLER: 900
MILLERD, A.: 767
MILLET: 863
MILLIEZ: 836
MILLIKAN, Robert Andrews (1868—1953): 217, 256, 265, 367, 941
MILLIZI: 865
MILLOT, Jacques: 511, 678, 701, 740
MILLOUX, Henri (n. 1898): 58
MILLS, B.Y.: 602, 604—605
MILNE, Edward Arthur (1896—1950): 576—577, 580—581
MILNER, S. Roslington (n. 1875): 289
MILNOR, J. : 37, 107
MINCHIN: 680
MINEUR, Henri (1899—1954): 573, 579
MINKOWSKI, Hermann (1864—1909): 23, 40, 160, 164
MINKOWSKI, Oscar (1859—1931): 849, 858
MINKOWSKI, Rudolph L.B. (n. 1895): 565, 604—605
MINNAERT, Marcel Gilles J. (n. 1893): 577
MINORSKY: 68
MINOT, George R. (1885—1950): 847
MINOUCHI: 709
MINSKY: 128
MIRANDA: 58
MIRSKY: 614
MÎRZA, V.: 639, 734
MISES, E. Richard von (1883—1953): 92, 192
MISME, Pierre: 279
MITCHELL, R.L.: 489
MITCHELL: 200
MITSCHERLICH, Eilhard (1794—1863): 479
MITTAG-LEFFLER, Magnus Gösta (1846—1927): 50
MIYAKAMA: 839
MÖGEL: 537
MÖLLENSTEDT. Gottfried (n. 1912): 285
MÖLLER, Eggert: 835
MOERS: 124
MÖSSBAUER, Rudolf L. (n. 1929): 181, 249, 351, 926
MOEWUS, F.: 714, 815, 817
MOFFATT: 886
MOHL, Hugo von (1805-72): 789
MOHOROVIČIĆ, Andrija (1890—1936): 466
MOHR: 709
MOISIL, G.: 53, 393
MOISSAN, Henri (1852—1907): 425
MOLDOVAN, I: 448
MOLES, Abraham: 110
MOLINIER, R.: 799
MOLISCH, Hans (1856—1937): 768
MOLK, Jules (1857—1914): 63
MOLLARET, P.: 881
MØLLER, Christian (n. 1904): 276
MONACO, prinţul ALBERT Ier DE (1848—1922): 695
MONDOR, Henri (1885—1962): 824
MONGE, Gospard (1746—1818): 85
Mongolia: 738—739, 952
MONIZ, Antonio Egas G. DE (1874—1955): 825, 860, 914
MONNÉ: 691
MONOD, Jacques: 715—716
MONOD, Théodore (n. 1902): 799
MONOD-BROCA, Ph.: 822
MONROY: 691

MONTANARI, G. (1633-87): 559
MONTEIRO, H.: 825
MONTEL, Paul (n. 1876): 46, 49, 53, 55, 57—61, 63, 66, 73, 91, 130
MONTGOMERY, T.H.: 662
MONTGOMERY: 38
Montpellier: 797
Montréal: 366
MOON: 360
MOORE, Carl R. (n. 1892): 853
MOORE, E.S.: 497
MOORE, Eliakim Hastings (1862—1932): 28, 131
MOORE, Francis D. (n. 1913): 911
MOORE, J.E.S.: 638
MORALÈS: 824
MORARU, I.:734
MORAU: 883
MORAWITZ, Paul Oskar (1879—1936): 650, 864
MORET, Léon (n. 1890): 510
MOREAU, Fernand: 810, 812
MOREAU, D-na: 812
MOREAU: 666
MOREY, George W. (n. 1888): 499
MOREL: 652
MORGAN, Jacques DE (1857—1924): 743
MORGAN, M.L.V.: 711
MORGAN, Thomas Hunt: 642, 682, 690, 708—710, 712, 813, 944
MORGAN, W.W.: 554
MORGEANU, H.: 293
MORGENSTERN, Oskar (n. 1902): 124
MORI: 845
MORLAT: 105
MORLEY, Edward Williams (1838—1923): 13
MORO, Ernst (1874—1951): 870
MOROCEWICZ, Jossip (n. 1865): 499
MOROȘAN, N.N.: 753
MORRILL: 709
MORRIS, H.J.: 807
MORRIS: 845
MORSE, Harmond N. (1848—1920): 404
MORSE, H. Marston (n. 1892): 43, 78, 131
MORSE, Philip (n. 1903): 301, 580
MORTENSEN, H.C.C. (1858—1921): 693
MORTILLETT, Adrien DE (1853—)
MORTILLET, Gabriel DE (1821-98): 743—744
MORTIMER: 688
MORTON, H.: 282
MORTON, William (1819-68): 911
MORTON: 885, 897, 909
MORUZZI, Giuseppe (n. 1910): 831
Moscova: 366, 496, 602, 932—934
MOSELEY, Henry G.J. (1887—1915): 13, 221, 329, 398, 420, 475
Moselle, valea: 745
MOSNIER: 904
MOSS, William L. (n. 1876): 648
MOSSOTTI, Fabrizio (1791—1863): 261, 292
MOTAȘ, C.: 683, 698, 733
MOTT, Nevill Francis (n. 1905): 302, 339
MOTTELSON, B.R.: 355—356
MOTT-SMITH, H.: 287
MOTZ, H.: 320
Moulis, Laboratorul subteran de la: 699
MOULLIN, Eric B. (n. 1893): 271
MOUNIER-KUHN: 871
MOURANT, Arthur Ernest: 858
MOURIER, E.: 96
MOURIER, G.: 316
MOUSKHELIȘVILI, Nicolai I. (n. 1891): 936
Moustier, peștera: 748
MOVIUS, H.L.: 749
MOYAL: 101
MOYSE, Alexis: 769
MOZZICONACCI, P.: 879
MÜGGE, Otto (1858—1932): 482
MÜLLER, E.: 582
MÜLLER, Gustav (1862—1906): 556, 560
MÜLLER, H.: 813
MÜLLER, J.: 812
MÜLLER, J.: 656
MÜLLER, Paul (n. 1899): 445, 891
MÜLLER, P.: 557
MÜLLER, P.: 799
MÜLLER: 334
MUELLER: 432
MUELLER: 823
MÜLLER: 880
MÜLLER: 897
MÜNCH, E.: 779
MÜNCH, G. (n. 1921): 576
Münster: 331
MÜNTZIG: 719
MUHAMMAD (MAHOMET) (569—632): 952
MUHAMMAD'ALI (MÉHÉMET-ALI) (1769—1849): 953—954
MUIR, W.H.: 760—761
MULLER, D.: 764
MULLER, Hermann Joseph (n. 1890): 708, 714, 717, 945
MULLERTZ: 650
MULLIKEN, Robert Sanderson (n. 1896): 400, 418
MULSOW: 709
München: 160, 433, 474, 771
MUNZ, P.A.: 795
MURDOCH, J.: 496
MURGOCI, A.: 682

MURGULESCU, I.: 447
MURPHY, William P. (n. 1892): 847
MURPHY: 343
MURPHY: 884
MURRAY, F.H.: 38
MURRAY, Sir John (1849—1914): 696
MURRAY: 716
Muzeul Național de Istorie Naturală din New York: 738
MUSEHOLD, A.: 669
Muzeul Național de Istorie Naturală (Paris): 499, 693
MUSSELL, B.F.: 879
Musulmani: 952—957, 960, 972
MUTSCHELLER: 827
MYERS: 909
MYRBERG, Pekka J. (n. 1892): 61

NABERT, A.: 685
NACHTIGAL, M.: 734
NACKEN: 168
NAEF: 680
NAGELI, Karl W. von (1817-91): 783
NAGAOKA, Hantaro (n. 1865): 272, 397
Nagasaki: 347, 973
NAGATA: 41
NAGEL, Willibald A. (n. 1870—1911): 669
NAGEOTTE, Jean (1866—1948): 665
NAKAYAMA: 40
NALLY: 896
Nançay: 603, 605
Nancy: 427
Nankin: 969
NANNEY: 682
NANNFELDT, John Axel: 812
NANSTEIN: 346
NAPIER: 683
NASH: 835, 863
NAȘĪR AL-DĪN AL-TŪSĪ (1201—74): 954
NATAF, Roger: 225
NATHANSAN: 897
National Academy of Science: 941
National Institute of Oceanography: 693
National Institutes of Health: 939
National Research Council: 941
National Science Foundation: 939
Națiunile Unite: 976
NATTA, Giulio (n.1903): 929
NAUMANN, E.: 698
NAUMOVA, S.N.: 785
Naval, Observatorul (Washington): 529
Navale, Laboratorul de Cercetări: 602
NAVRATIL, E.: 657
Neagră, mare: 792
NECRASOV, Olga. : 734, 736, 753.
NECȘOIU, Ileana. : 446
NEDDERMEYER, Seth Henry (n. 1907): 385
NEDELEA, Șt. 640, 641, 688
NEDELSKY: 343
NEEDHAM, A.E. : 690
NEEDHAM, Dorothy (n. 1896): 644, 723, 969
NEEDHAM, Joseph (n. 1900): 644, 680, 723, 969
NEEFE: 864
NÉEL, Louis (n. 1904): 248—249
NEEL: 721
NEGELEIN, Erwin (n.1897): 765, 767, 773
NEGRI: 838
NEGULESCU, G.G.: 734
NEHER: 856
NEIDBRINCK: 911
NELSON: 836
NELZE: 827
NEMINSKI: 830
NENIȚESCU, C.D. (1902—1970). : 445, 446
NENIȚESCU-CIORĂNESCU, E.: 446
NEPVEUX: 837
NERNST, Walter (1864—1941): 161, 237, 288—290, 401—402
NESMEIANOV, Alexandr N. (n. 1889): 123, 936
NESSLER: 410
NESTOR, I. : 753
NETTER, Arnold J. (1855—1936): 839, 874—875, 890
NEUBERG, Carl (1877—1956): 623, 625, 765—766
NEUBURG, C. : 786
NEUKOF: 869
NEUMANN, Carl G. (1832—1925): 73
NEUMANN, G.: 258
NEUMANN, Johann von (1903—57): 27, 38, 68, 113, 116, 124, 126, 132, 222, 580
NEUMANN, R. von: 92
NEUMANN, Wilhelm (n. 1898): 433
NEUMARK: 39
NEUVILLE, Henri (n. 1872): 750
Nevada: 793
NEVANLINNA, Rolf (n. 1895): 56—57, 60, 63, 81
NEVEU-LEMAIRE: 683
NEMBIGIN: 701
NEWCOMB, Simon (1835—1909): 175, 526, 533, 941
New Deal: 942
New Delhi: 962
NEWELL, A. : 128
New Haven: 748
New Jersey: 848
NEWMAN: 643

NEWMAN: 721
NEWTON, Isaac (1643—1727): 155, 161, 172—173, 174, 178
New York: 697, 721, 744, 795, 824, 828
NEYMANN, Jersy (n.1894): 92, 98, 102
NGUYÊN PHUC BUU HOI: 966
NGUYÊN TRÙÓNG TO: 965
NIAC, G.: 447
NICE, Margaret M. : 706
NICHOLS, Ernst (1869—1924): 217—218, 219, 257, 275, 315, 320, 555
NICHOLSON, Seth Barnes (n.1891): 539, 555, 563
NICHOLSON: 524
NICHOLSON: 694
NICHELL: 898
NICOLAS, Joseph (n. 1868): 634
NICOLAU, Şt.: 664
NICOLAESCU-PLOPŞOR, C.S. : 748, 753
NICOLESCU, I.V.: 448
NICOLESCU, Miron. : 134
NICOLLE, Charles (1866—1936): 891, 890—891
NICOLLE, Maurice (1862—1932): 843
NIDLEY: 915
NIEMANN, Albert (1880—1921): 868
NIESSEN, Karel F. (n. 1898): 271
NIGGLI, Paul (1888—1953): 481, 491—494, 504—505
NIGGLI: 717
NIGON: 688
NIJLAND, Albertus A. (1868—1936): 561
Nijni-Novgorod (Gorki): 933
NIKINI, M. von: 772
NIKODYM, Otton: 30, 80
NIKOLAÉV, A. : 937
Nil, valea: 752
NILSSON-EHLE: 708
NILSSONN: 859
NIPKOW, Paul (1860—1940): 281
NISHINA, Y. : 340
NISHIJIMA: 376, 377
NITSCH, J.P.: 760
NITTI, F. (1905—47): 895
NOACK, Kurt (n. 1888): 772
NOBÉCOURT, P. : 755
Nobel, Fundaţia: 930
NOBLE, G.K. : 724
NODDACK, Walter K.F. (n. 1893): 421
NOETHER, Emmy (1882—1935): 32—33, 40, 69, 130
NOETHER, Max (1844—1921): 85
NOGUE: 846
NOIRÉ: 826
NOIX, Marcel: 826
NOLAN: 909
NOLF: 864
NOLL, F.H. Walter (n. 1907): 499
NOLL, Walter: 189, 191
NOMARSCKI, G. : 482
NOON, Leonard (1879—1913): 843
NORA: 827
Nord, mare: 456
NORDHEIM, Lothar W. (n. 1899): 299
NORDMANN, Charles (1940): 600
NORTH, D. : 271
NORTHROP, John Howard (n. 1891): 622
NORTON: 271
Norvegia: 347, 403, 695, 739, 841
Nottingham: 425
Noul Mexic: 536, 742
NOUVEL, H. : 675
Noua Zeelandă: 560, 795, 802
NOVACU, Valer: 393
NOVELLO: 898
NOVIKOV, Piotr S. (n.1901): 132, 936
Novosibirsk: 934
NOWINSKI, W.W. : 644
NOZIÈRES: 318
NUTTALL: 689
NUTTALL: 723
NYASHITA: 684
NYE, Robert N. (1892—1947): 840
NYLIN, Karl Gustav V. (n. 1892): 860
NYQUIST, Harry: 109, 117—118, 270

Oak Ridge: 249, 366, 944
OBERLING, Charles: 637, 884
OBREGIA, A. (1864—1937). : 444, 445
OBRUCEV, V. : 494
OCCHIALINI, G.P.S. : 342, 368, 372
Occident: 501, 952, 968, 973
O'CEALLAIGH: 375
O.C.D.E. : 977
Océania: 795
OCHAO, Severo (n.1905): 623, 767—768, 774—775
OCHSÉ, S. : 686
OCHSENFELD: 309
ODHNER: 676
ODOBESCU, Al. : 753
ÖPIK: 581
OESTERLIN, H. : 781
OETTINGER, A.G. : 123, 127
Office of Scientific Research and Development: 943
OGURA: 712
OHM, Georg Simon (1787—1854): 309, 325
OHTA: 709
OKA, K. : 36, 64, 90
OKADA: 684, 690
OKHURA: 721

OKUMA: 709
Olanda: 366
OLIPHANT, Marcus Lawrence E. (n.1901): 364, 452, 478, 595, 602—604, 694, 708, 735
OLITSKY: 839
OLIVEIRA CASTRO: V. CASTRO
OLIVER, F.W.: 785
OLIVER, George (1841—1915): 850, 856
OLIVIER, J. : 862
OLIVIER: 824
OLOW: 862
OLSON: 727
OLTMANNS, F.: 806, 809
OMBREDANNE, Louis (n. 1871): 911, 915
O.M.S. : v. Organizaţia Mondială a Sănătăţii
ONCLEY, J.: 292, 294
ONICESCU, Octav (n. 1892): 92, 134
ONICIU, Liviu: 447
ONSAGER, Lars (n. 1903): 229, 290, 292, 405
Ontario: 786
OORT, Jan H. (n. 1900): 579, 583, 596, 604
OPARIN, Alexandr I. (n. 1894): 498, 772
OPRESCU, St.: 734
ORCEL, Jean (n. 1896): 193, 219, 234, 329, 412, 419, 483, 489, 491—493, 604
ORDEN, A.: 126
Organizaţia Europeană de Cercetări Spaţiale: 931, 977
— Mondială a Sănătăţii: 674, 721, 868, 977
— Naţiunilor Unite pentru Alimentaţie şi Agricultură (F.A.O.): 858
ORLOV, J.A.: 740
ORNSTEIN, Leonard S. (n. 1880): 478
OROWAN, E.: 200, 482
Orsay: 364
ORTHMANN, Wilhelm (1901—45): 339
OPPENHEIMER, Robert (n. 1904): 154, 224, 343, 360, 944
OSANN, C. Alfred (1859—1923): 492
OSBORN, Henry Fairfield (1857—1925): 723, 726, 738
OSBORNE, Thomas Burr (1859—1929): 432, 440, 780, 845
OSGOOD, William F. (n. 1864): 63, 131
OSTER, G. : 292
OSTERHOUT, Winthrop I.V. (n. 1871): 778
OSTROGOVICH, Adrian (1870—1954): 445, 446
OSTROWSCHI, Alexander M. (n. 1893): 39—40, 57—61
OSTWALD, Wilhelm (1853—1932): 140, 401, 405, 410, 480, 669
OSTWALT, Franz (1862—): 211
OSWALD: 123
OTIN-NICULESCU, Cristea (1879 — 1954): 445
OTLET, P.: 124
OTTO, Richard (1872—1952): 843
Ouro Preto: 949—950
OVERTON, Charles, Ernest (1865—1933): 617, 638, 777
OWEN, Sir Richard (1804—92): 710, 739
OWREN, P.A.: 650, 859, 903
OXFORD: 435, 693, 892

PAAL, A.: 756
Pacific, oceanul: 462, 502, 512, 678, 695—696
PACINOTTI, Antonio (1841—1912): 322
Padjitan: 750
Padova: 806
PAGE, Frederick J.M. (1848—1907): 861
PAGES, Calixte: 650
PAIGE, D.: 882
PAIN: 707
PAINLEVÉ, Jean: 673
PAINLEVÉ, Paul (1863—1933): 46, 59, 63, 65, 68—69, 186
PAINTER, Theophilus S. (n. 1889): 709, 711, 720
PAIRO, M. Crusafont: 739
PAIS, A.: 385—386
PALADE, G.E.: 615, 654, 789—790
Palikao: 748
PALLADIN, Alexandr V. (n. 1885): 936
PALLADIN, Vladimir I. (1859—1922): 765
PALMER: 706
PALMER: 825
PALOCSAY, R.: 734
Palomar, Observatorul de la Mount: 214, 518, 521—523, 565, 572, 592, 605
Panama: 795 — Istmul — : 511, 701
PANCINI, E.: 372
PANER: 836
PANETH, Frederick A. (n. 1887): 396, 404, 430
PANNEKOEK, Antonie (n. 1873): 576—577
PANOFSKY, W.K.H.: 364
PANTELL, R.: 319
PAPALEKSI, Nikolai D. (1880—1947): 935
PAPANICOLAU, George N. (1883—1962): 829, 854
PAPENFUSS, George F.: 806
PAQUE, A.: 746
Paraclet, laboratorul: 698
PARASCHIV, M.: 757
PARAT: 613
PARAVICINI, E.: 812

Parcul Național Albert: 700
PARDEE, Harold E.B. (n. 1886): 860
PARENAGO, Paul P. (n. 1900): 560
PARHON, C.I. : 657, 658, 734
Paris: 369, 496, 524—526, 529, 665, 699, 743, 786, 874
Paris, Bazinul: 739
PARK, William H. (1863—1939): 869
PARK: 694, 705
PARKER, Frederic (n. 1890): 840
PARKER: 585
PARKES: 896
PARKHURST, John A. (1861—1925): 551, 554
PARKIN, J.: 805
PARKINSON, James (1755—1824): 860
PARNAS, I.K.: 765
PARR: 679
PARREL: 836
PARROT, Joseph (1829—83): 870
PARROT, J.L.: 844
PARRY: 529
Pasadena: 535, 755, 770
PASCAL, Blaise (1623—62): 106, 112
PASCHEN, Friedrich (1865—1947): 220, 259
PASCHER, A.: 806, 808
PASK, G.: 127
PASQOUET: 861
PASSANO: 685
PASTEUR, Louis (1822—95): 1, 16, 480, 621, 625, 629, 633, 816, 838, 892
PASTEUR, William (1856—1943): 869
Patagonia: 739
PATEK: 650, 859
PATERSON, R.: 910
PATERSON, T.T.: 750
PATTERSON, E.L.: 194
PATTERSON: 643, 717
PATTERSON: 836
PATOUILLARD, Narcise (1854—1926): 811
PAUL, John R. (n. 1893): 879
PAULESCU, Nicolae: 733, 849, 851
PAULI, Wolfgang (1900—1958): 150, 175, 196, 224, 246, 251, 382, 384, 388, 389, 399
PAULING, Linus (n. 1901): 195, 400, 419—420, 425, 475, 487—488, 619, 720, 842, 859
PAULSSEN: 650
PAULY: 726
PAUWELS: 912
PAVEL, I.: 734
PAVEL, S.: 658
PAVLOV, Ivan Petrovitch (1849—1936): 120, 652, 667, 670, 876, 906, 936
PAVLOV, Marie: 738
PAVLOV, N.N.: 526
PAVLOVICI, S.: 489
PAWSEY, J.L.: 602, 605
PAYNE, OPOSCHKIN, Cecilia H. (n. 1900): 564, 577
PEANO, Giuseppe (1858—1932): 66
PEARL, Raymond (1879—1940): 694
PEARSE, A.G.E.: 674
PEARSE: 693
PEARSON, Ego Sharpe (n. 1895): 92, 98
PEARSON, Karl (1857—1936): 92, 104, 674
PEATNITCHI, I.: 725
PECKER, Ch. W. (n. 1923): 575
PECKER, Jean-Claude (n. 1923): 577
PEERDEMAN, A.F.: 431
PEET: 914
PEIERLS, Rudolf E. (n. 1907): 197, 301
PEI-WEN-CHUNG (n. 1903): 750
Pekin: 750, 968—969, 972
PELGER: 720
PELLAS, P.: 482
PELLETIER, Joseph (1788—1842): 435
PELTIER, Jean (1785—1845): 199, 262
PELTIER: 891
PENCK, Albrecht (1858—1945): 744
PENFIELD, Wilder G. (n. 1891): 873, 914
PENFOUND, W.T.: 798
PENNAK: 698
PENNERS: 691
PENNING, Franz M. (n. 1894): 288
PENROSE: 250
PERCO, G.A.: 699
PERDOK, W.G.: 481
PEREIRA, C.: 825
PEREIRA, S.: 825
PÉRÈS, Joseph (1890—1961): 186, 188, 284
PÉREZ, Charles (1873—1952): 684
PÉREY, Marguerite (n. 1909): 421
PERKIN, Sir William Henry (1860—1929): 430
Perkins, Observatorul: 521
PERNER, E.S.: 789
PÉROT, Alfred (1863—1925): 218, 321
Peru: 456, 791, 795, 950
PERRIER, C.: 421
PERRIER, Edmond (1844—1921): 675, 724
PERRIER, Georges (1872—1946): 456
PERRIER, Rémy: 675
PERRIER DE LA BATHIE, Henri (1873—1958): 795, 799
PERRIN, Francis (n. 1901): 346
PERRIN, Jean (1870—1942): 160, 228—231, 255, 328, 382, 403, 579, 742, 927
PERRIN, René (n. 1893): 494, 510

PERRIN: 715
PERRINE, Charles Dillon (1867—1951): 531
PERRON, Oskar (n. 1880): 59
PERRONCITO, Edoardo (1847—1936): 613
PERRY: 124
Persia (v. Iran)
PERTHES, Georg C. (1869—1927): 908
PERUTZ, Max-Ferdinand (n. 1914): 195, 647, 654
PETERS, Hubert (1859—1934): 641
PETERS, Sir Rudolph A.: 652
PETERS: 858, 863
PETERSEN, C.J.J.: 693, 697
PETERSEN, R.: 62
PETGES: 886
PETIT, Georges: 698
PETIT: 912
PETRAȘCU, Marius: 392
PETRESCU, Camil: 734
PETRESCU-DÎMBOVIȚA, M.: 753
PETRESCU Paul: 202
PETROVEANU, Magda: 446
PETROVSKI, Ivan G. (n. 1901): 75, 92, 131, 936
PETRUNKEVICI: 680
PETRZJAK, K.A.: 348
PETTIS: 82
PETIT, A. (1869—1939): 880
PETTIT, Edison (n. 1890): 524, 555—556, 563
PEUTZ: 886
PEYER, Bernhard (n. 1885): 740
PEYRONY, Denis (1869—1954): 750
PÉZARD, Albert (1875—1927): 853
PFAFF, Johann Friedrich (1765—1825): 70, 89, 127
PFAHLER: 909
PFANNKUCH, E.: 285
PFANN, W.: 305
PFEFFER, Wilhelm (1845—1920): 756, 765
PFEIFFER, Emil (1846—1921): 882, 890
PFEIFFER, Richard (1858—1945): 655
PFEIFFER: 854
PFIFFNER, Joseph J. (n. 1903): 855
PFLÜGER, Eduard F.W. (1829—1910): 670
PFLUGER: 831
PFLUGFELDER, O.: 685
PHAM, BOI-CHAU: 965
PHILIBERT: 838
PHILIP: 342
PHILIPPI, Rudolf A. (1808—1904): 950
PHILIPPS, K.: 360, 385
PHILIPSON, W.R.: 786
PHRAGMÉN, Gösta: 195
PIANESE: 829
Pic du Midi, Observatorul de la: 377, 524, 536
PICARD, Émile (1858—1941): 35, 40, 55, 58, 61—64, 66, 68—69, 85—87, 130
PICARD: 683, 705
PICART, Luc (1867—1956): 579
PICCARD, Auguste (1884—1962): 696
PICCIONI, Oreste (n. 1924): 372, 379
PICHI-SERMOLLI, R.E.G.: 803
PICK, Ludwig: 868
PICKEN: 681
PICKERING, Edward Charles (1846—1919): 523, 549, 557, 560—561
PICTET, Amé (1857—1937): 608
PIDGEON: 423
PIED, Henri (1899—1934): 483
PIEPTEA, R.: 734
PIERANTONI: 684
PIERCE, J.R.: 277, 284, 317
PIERKARSKY: 684
PIÉRON, Henri (n. 1881): 668
PILGRIM, G.E.: 744
PILLAI, Swamikannu: 959
PINCUS, J.: 640
PINES: 310, 318
PINEUS: 855
PINSKER: 104
PIPER, H.: 831
PIPPING, Nils J. (n. 1890): 25
PIRENNE, H.: 669
PIRIÉ: 838
Pirinei: 689
PIRQUET VON CESENATICO, Clemens P. (1874—1929): 843, 870
PIRSSON, Louis V. (1860—1919): 492
PISOT, Charles: 24, 26
PITRAT, J.: 128
PITTOSTI: 689
PITT-RIVERS: 852
PITTS, W.: 116, 121
PITTS: 835
Pittsburg: 366
PITZER: 425
PIVETEAU, Jean (n. 1899): 507, 722, 739, 748
PIXII, Nicolas-Constant (1776—1861): 322
PIZON, Antonie (1860—1942): 673
PIZZETTI, Paolo (1860—1919): 461
PLANCK, Max (1858—1947): 14, 142—144, 150, 161, 217, 219, 226, 235—237, 241—242, 244, 256, 265, 381
PLANTÉ, Gaston (1834—89): 324
PLANTEFOL, Lucien (n. 1891): 784, 789
PLATE, Ludwig (1862—1937): 712
PLATEAU, Joseph (1801—83): 87
PLOTZ, Harry (1890—1947): 882
PLOWRIGHT, C.B.: 812

PLUMMER, Henry S. (1874—1937): 895
POBÉGHIN, Th.: 485
POCHON, J.: 684
POCKELS, Agnes (1862—1935): 408
POGANY, Béla (n. 1887): 170
POGANY, Iuliu: 446
POGORELOV: 91
POGSON, Norman R. (1809—91): 548
POHL, Robert (n. 1878): 200, 303
POHL: 910
POILANE, E.: 795
POINCARÉ, Henri (1854—1912): 14, 21, 27, 35—37, 43, 46, 52, 59—63, 66—69, 73, 77, 84—85, 90, 92—94, 101, 130, 142, 158—160, 164, 175, 184—185, 187, 190, 258, 271, 276, 327, 330, 532, 579
POISEUILLE, Jean—Léon (1799—1869): 190
POISSON, Siméon-Denis (1781—1840): 68, 98—99, 126, 182, 239
POLANYI, Michael (n. 1891): 195
POLDER: 295
POLLAKOV: 120
POLICARD, Albert (n. 1881): 646, 829, 870
POLLACZEK, F.: 53
POLLACK, A.D.: 885
POLLEY, H.F.: 899
Polonia: 47, 131, 698, 930
Polul Nord, Staţiunea polară de cercetări: 935
POLUNIN, Nicolas: 801
POLYA, George (n. 1887): 58, 60, 65, 92, 94, 96
POLYAK, Stephen (n. 1889): 669
POMPEIU, Dimitrie (n. 1873): 53—55, 134
Pondichéry: 962
PONI, Margareta: 444
PONI, Petre (1841—1925): 443, 444
PONS: 891
PONTE, Maurice (n. 1902): 278
PONTECORVO, B.: 580, 929
PONTECORVO, G.: 817
PONTRIAGHIN, Lev S. (n. 1908): 33, 36, 90, 131, 936
Poona: 962
POOR, Vincent Collins: 53
POPA, Gr.T.: 655, 847
POPA, Gr.: 448
POP, Emil.: 734
POPE, W.J.: 430
POPESCU, Al.: 448
POPESCU, Corina: 448
POPESCU, I.: 762
POPESCU, IOVIŢIU: 227
POPESCU-VOITEŞTI: 738
POPOV, Alexandr S. (1859—1905): 267
POPOVICIU, Tiberiu: 61, 134
POPOVICI, P.: 937
POPOVICI, G.: 777
POPPEN: 914
POPPER, Erwin: 874
POPPER: 180
PORA, E.: 654, 695, 734
PORCHER, P.: 824, 826
PORGES, Otto (n. 1879): 827
PORSCH, O.: 813
PORTER, K.R.: 790, 806
PORTER, N.A.: 361
PORTER: 615, 646
PORTER: 836
PORTEVIN, Albert (1942—1962): 489
PORTIER, Paul (1866—1962): 843
PORTOCALA, R.: 734
PORTRET: 825
Portugalia: 739, 825, 929
POSSEL, René DE (n. 1905): 121
POST, L. von: 786
POST, Richard: 324
POST: 114
POTSDAM: 459, 549
POSTHUMUS, K.: 278
POTONIÉ, Henry (1857—1913): 497, 507, 782
POTT, Percivall (1714—88): 884
POTTER: 824
POULIQUEN: 824
Pulkovo, Observatorul de la: 527, 602
POULSEN, Waldemar (1869—1942): 268
POUND, Robert Y.: 182, 252
POWELL, Cecil Franck (n. 1903): 372
POYNTING, John Henry (1852—1914): 257
PRACHAR, Karl (n. 1925): 25
PRAGER, Richard (n. 1883): 560
Praga: 161, 411, 681, 743
PRANDTL, Ludwig (1875—1953): 187
PRANTL, Karl (1849—93): 795
PRATT, John Henry (1809—72): 458, 462
PRAUSNITZ, Wilhelm (1861—1933): 843
PRECHT, H.: 702
PREDA, V.: 641, 734
PREECE, Sir William (1834—1913): 263
PREGL, Fritz (1869—1930): 410, 427
PREISWERK, Peter (n. 1907): 345
PRENANT, Auguste (1861—1927): 660
Pretoria: 521
PRÉVOT: 632
PRIADCENCU, Al.: 734
PRICE, A.H.: 879
PRIESTLEY, J.H.: 784
Princeton: 347, 366
PRINGSHEIM, Alfred (1850—1941): 59
PRINGSHEIM, Nathanaël (1823—94): 782
PRINZ, Dr.: 116
PRIOR, George Th. (1862—1936): 499

PROCA, Al. (1897—1955): 392
PROCOPIU, Şt.: 244
PROHOROV: 297
PROUST, Louis (1754—1826): 328
PROUVOST, J.: 484
PROUX: 910
PRUVOST, Pierre (n. 1890): 508
PRUVOT, G.: 697
PRYCE: 250
PRZIBRAM, Hans L. (1874—1944): 726
PUCHER, George W.: 621
PUGH, R.C.B.: 881
PUISEUX, Pierre (1855—1928): 542
PUISEUX, Victor (1820—83): 39, 63
PULLE, A.: 804
PULSFORD: 825
Punjab: 750
PUNNETT, R.G.: 710
PURCELL, Edward Mills (n. 1912): 252, 295, 320, 413
PURDIE, Thomas (1843—1916): 432
Purdue, Universitatea (U.S.A.): 303
PURICA, I.: 393
PURKYNJE, Jan Evangelista (1787—1869): 549, 653
PUSAY: 908
PUTMAN: 894
PZRIBRAM, V.: 485

QUATE: 317
QUAYLE, J.R.: 776
QUEENSLAND: 882
QUENSTEDT, F. August: 749
QUENSTEDT, Werner (n. 1893): 749
QUERIDO: 835
QUETELET, Adolphe (1796—1874): 694
QUICK, Armand James (n. 1894): 650, 833—834, 900
QUILLIGAN, J.J.: 881
QUIMBY, E.: 826, 909—910
QUINTANILHA, A.: 815
QUITO: 948

RABAUD, Étienne (n. 1868): 702, 705
RABE, Eugen Karl (n. 1913): 526
RABE, Paul (1869—1952): 435
RABENHORST, L.: 810
RABI, Isidor Isaac (n. 1898): 251, 295, 940, 944, 945
RABINOVITCH: 504
RACE, R.R.: 858
RACHET: 824
RACHEVSKY, W.: 116
RACK, A.: 271
RACKER, E.: 765, 776

RACOVIŢĂ, E.G.: 699, 733
RADEMACHER, Hans (n. 1892): 53
Radiation Laboratory (Berkeley): 945
RADÓ, Tibor (n. 1895): 62
RADON, Johann (n. 1887): 82
RADOS, Gustav (n. 1862): 87
RADOSLAV: 837
RADU, V.: 639, 736
RĂDULESCU, Dan: (1884—1969): 444
RĂDULESCU-MOTRU, C.: 734
RAFFERTY, T.: 871
RAICU, P.: 734
RAINER, Fr.: 747, 753
RAJCHMAN, J.: 282
RALEA, M.: 392
RALEA, Radu (1908—1966): 444
RAMAN, Sir Chandrasekhara Venkata (n. 1888): 225, 961
RAMANUJAN, Srinivasa (1887—1920): 961
RAMBERG, E.: 282
RAMDOHR, Paul (n. 1890): 496, 504
RAMENSKI, L.G.: 797
RAMKANA, L.G.: 722
RAMO, S.: 317
RAMON, Gaston (1886—1963): 891
RAMÓN Y CAJAL, Santiago (1852—1934): 666—657, 670
RAMSAY, N.F.: 296
RAMSAY, Sir William (1852—1916): 230—231, 382—383, 420, 547
RAMSAY, Frank P. (n. 1903): 92, 107
RAMSEY, W.H.: 466
RANDAL, J.: 278
RANDALL, John Turton (n. 1905): 639
RANDALL, Merle (n. 1888): 402
RANDALL, M.: 767, 775
RANDOUIN, Lucie: 846, 901
RANEY, Murray: 428
RANGANTHAN: 124
RANK, Mrs.: 877
RANKAMA, K.: 497, 504
RANKE, Karl E. (1870—1926): 870
RANKINE, William (1820—72): 188
RANSON, S.W.: 116, 867
RANSON: 656
RANVIER, Pouis (1835—1922): 667
RAO: 98
RAOULT, François (1830—1901): 401
RAPER, J.R.: 815—816
RAPKINE, Louis (1904-48): 632
RASETTI, Franco (n. 1901): 340, 345
RAŞEEV, S.: 448
RASMONT: 690
RASUNOVSKI: 123
RASZILLIER, I.: 392
RATNOFF: 650
RAUNKIÄER, C.: 798—799

RAUSCHKOLB: 855
RAUTENBERG: 826
RAVEN, C.P.: 691
RAWITSCHER, F.: 812
RAY, Praphulla Chandra (1861—1944): 959
RAY: 682
RAYLEIGH, Lord (John William STRUTT) (1842—1919): 142, 209, 225, 232, 261, 275, 420, 466
Războiul mondial (1914—1918): 394, 941
Războiul mondial (1939—1945): 125, 279, 323, 423, 435, 520, 542, 936, 939, 944, 970, 973
RĀZĪ, Abû Bakr Mohammad al-(RHAZÈS) (865—925): 953
RAYNAUD: 861
R.C.A., firme: 524
READ, W.T.: 482
READ: 684
REBER, Grotte: 601
REBEYROTTE: 718
REBKA, Glen A.: 182
Recife: 949
RECKLINGHAUSEN, Friedrich D. von (1833—1910): 850
REDDISH, A.: 319
REDEKER: 871
REDMAN: 556
RRED, Walter (1851—1902): 839
REES, N.: 816, 891
REGAUD, C. (1870—1940): 909
REGEL: 307
REHBERG, Paul Brandt: 835, 862
REICHE, Carlos: 950
REICHENOW: 683
REICHSTEIN, Tadeus (n. 1897): 428, 793, 849, 855—856, 899
REID, Cl.: 785
REIFLER, E. : 123
REIGHARD: 692
REILLY, J.: 880
REIMANN, Hobart A. (n. 1897): 869
REINACH, Salomon (1858—1930): 753
REINDERS, D.E.: 756
REINHARDT: 60, 64
REINKE, Johannes (1849—1931): 806, 814
REIS, A. (1882—1951): 488
REMANE: 698
REMMERT, Reinhold (n. 1930): 36, 64
REMOUNDOS, Georges (n. 1878): 59, 63
RENAULD: 835
RENAUT, Joseph (1844—1917): 614, 647
RENDLE, A.B.: 804
RENGI: 25, 92
REPSOLD, Johann Adolf (1838—1919): 459
RESAL, Henri (1828-96): 189
Research Information Service: 941
RETHERFORD, R.C.: 153, 294
RETHORE: 721
RETZIUS, Magnus Gustaf (1842—1919): 668
REUSS: 842
REVAS: 861
REVERBERI: 689
REY, Paul: 700
REY: 871
REYNALS: 646
RHAM, Georges DE (n. 1903): 35
Rhone, valea: 745
RIBAUCOUR, Albert (1845—91): 87
RIBOT, Théodore (1839—1916): 875
RICCI, Gregorio (1853—1925): 25—26, 89
RICCI, Matteo (1552—1610): 972
RICE, Francis Owen (n. 1890): 404, 430
RICH: 865
RICHARDS, Alfred Newton (n. 1876): 652, 862
RICHARDS, Dickinson W. Jr. (n. 1905): 828
RICHARDS, F.: 784
RICHARDS, P.W.: 799, 802
RICHARDS, Theodore W. (1868—1928): 396
RICHARDSON, Owen W. (1879—1959): 263
RICHARDSON: 537
RICHERT: 26
RICHENS, N.: 123
RICHET, Charles (1850—1925): 670, 843
RICHMOND, H.: 885
RICHS: 835
RICHTER, C.F.: 466
RICHTER: 580
RICHTER: 853
RICKES, Edward Lawrence (n. 1912): 848
RICKETTS, Howard Taylor (1871—1910): 632
RIDDER, J.: 53
RIDDLE, Oscar (n. 1877): 661
RIDEAL, Erik K. (n. 1890): 409
RIDLEY, H.N.: 799
RIECKE, Edward (1845—1915): 262, 325
RIEDER: 824
RIEMANN, Bernhard (1826—66): 33, 35—36, 41—43, 52, 62, 72, 75, 85, 88, 188
RIESZ, Frédéric (1880—1956): 37, 50, 60, 72, 79, 131
RIESZ, M.: 50, 75—76
RIETZ, G. Einar DU: 800
RIGA, I. Th.: 734, 736
RIGHI, Augusto (1850—1920): 275
Rin, valea: 745
RINN: 195
Rio de Janeiro: 948
RIPAN Raluca (1894—1975): 447
RÎPEANU, S.: 393

RIQUIER, Charles (1853—1929): 70
RITCHEY, George Willis (1864—?): 521
RITCHIE: 872
RITIS, DE: 835
RITT, Joseph F. (n. 1893): 69
RITTENBERG, David T.: 433
RITTER, August (1826—1908): 576
RITZ, H.L.: 220
RIVAS, R.: 826
RIVERS, Thomas M. (n. 1888): 838
RIZET, G.: 716
ROBB, George P. (n. 1898): 825
ROBBINS, Frederick C. (n. 1916): 874
ROBBINS, William Jacob (n. 1890): 745, 778
ROBERT: 371
ROBERTSON, C.: 805
ROBERTSON, Howard P. (1905—61): 599
ROBERTSON: 195
ROBERTSON: 717
ROBERTSON: 825
ROBIC: 891
ROBINOW, C.F.: 633, 789
ROBINSON, Sir Robert (n. 1886): 428—429, 617, 652
ROBINSON: 836, 870
ROBINSON, Robert (n. 1883): 765
ROBLIN, Richard O. (n. 1907): 631, 898
ROBSON: 717
ROCH, Gustav (1839—66): 36, 41
ROCHE, Jean (n. 1901): 646, 853
Rochester (S.U.A.): 366, 376
ROCK, John (n. 1890): 641
Rockefeller, Fundaţia: 674, 941
Rockefeller, Institut: 434
RODEBUSH, Worth H. (n. 1887): 419
RODRIGUEZ, A.: 825
RÖNTGEN, Wilhelm Konrad von (1845—1923): 214, 328—329, 621, 823, 908
ROFFO, Angel H. (n. 1881): 863
ROGERS, Sir Leonard (n. 1868): 897
ROGERS, Dr.: 115
ROGERS: 684
ROGOFF, Julius M. (n. 1884): 855
ROGONSKI, Werner (n. 1894): 60
ROKITANSKY, Carl von (n. 1804—78): 860
ROMBERG: 460
Roma: 344, 954, 977
ROMER, A.S.: 740
RONCHI, Vasco (n. 1897): 218, 522, 669
ROOSEVELT, Franklin D. (1882—1945): 942
ROQOUES, M.: 506
ROSA, Daniele (1857—1944): 726
ROSATI, Carlo (n. 1876): 87
RÖSCH, Jean: 468
Roscoff: 698
ROSE, A.J.: 477
ROSE, F.L.: 896
ROSE, M.E.: 282, 350
ROSE, William C.: 432, 440
ROSE: 864
ROSELO: 825
ROSEN, N.: 175
ROSEN: 915
ROSENAU, Milton Joseph (1869—1946): 843
ROSENBLATT, Dr.: 121
ROSENBLUETH, Arturo S. (n. 1900): 108, 117—118
ROSENBLUM, Salomon: 339
ROSENSTEIN: 863
ROSENTHAL, Artur (n. 1887): 58
ROSENTHAL, Sanford Morris (n. 1897): 835
ROSENTHAL: 650
ROSENTHAL: 859
ROSENTHAL: 890
ROSING, Boris: 281
ROSS, Frank Elmore (1874—1961): 528, 533
ROSS, I.: 305
ROSS, Th.: 119
ROSS: 884
ROSSELAND, Svein (n. 1894): 576, 581
ROSSER, B.: 25
ROSSI, Bruno (n. 1905): 350, 368
Rossiten (Allemagne): 693
ROŞKA, M.: 753
ROSSLE: 871
ROSTAND, Jean (n. 1894): 640, 717
ROSTAS: 277
ROTH, F.K.: 23
Rothamsted (G.-B.): 92, 94, 102, 927
ROUBAUD, Émile (1882—1962): 683—684, 707
ROUBAULT, Marcel (n. 1905): 494, 510
Rouffignac, peştera de la: 752
Roşie, mare: 695
ROUGHTON, Francis J.W. (n. 1899): 652
ROUGIER, Gilbert: 524
România: 92, 134, 227, 253, 273, 322, 329—340, 333, 365, 375, 392—393, 528, 639, 640, 641, 648, 654, 655, 647—658, 659—660, 664, 677, 682—683, 688, 689, 695, 699—700, 725, 726, 732—733, 738, 747, 748, 753—754, 757, 758, 759, 760, 762, 770, 771, 772, 773, 780, 809, 812, 838, 857, 873, 886, 840, 892, 930, 953
ROUQUAYROL: 696
ROUS, Francis Peyton (n. 1879): 840, 885
ROUSSEL: 853
ROUSSY, Gustave (1874—1948): 851, 884
ROUX, A.: 813
ROUX, Émile (1853—1933): 635

ROUX, Wilhelm (1850—1924): 642
ROVENSTINE, E.A.: 897
ROWBOTHAM, Edgar Stanley: 911
ROWE, A.P.: 125
ROWE, A.W.: 722
ROWE: 306
ROWLAND, Henry A. (1848—1901): 940
ROWNTREE, Leonard G. (n. 1883): 862
ROY, Maurice (n. 1899): 187
ROY, R.: 499
Royal Society: 178, 567
ROYER, Louis (n. 1895): 479, 481
ROYER: 868
RUBBO: 848
RUBEN, S.: 768, 773—774
RUBENS, Heinrich (1865—1922): 199, 217
RUBNER, Max (1854—1932): 651, 866
RUDDOCK: 827
Rudolph, insula: 935
RÜBEL, E.: 788
RÜTIMEYER, Ludwig (1825—95): 738
RUFF, Otto (n. 1871): 433
RUGGIERO: 825
RUHLAND, Otto Wilhelm (n. 1878): 778
RUNCORN, S.K.: 744
RUNDLE: 425
RUNNSTRÖM: 691—692
RUSHTON, W.A.H.: 669
RUSKA, Ernst A.F. (n. 1906): 285
RUSKA, Helmut (n. 1908): 763
RUSSELL, Bertrand (n. 1872): 128
RUSSELL, Sir Edwin John (n. 1872): 102
RUSSELL, Frederick Tuller (n. 1870): 890
RUSSELL, Henry Norris (1877—1939): 519—520, 546, 547, 558, 577, 580—582
RUSSELL, H.N. (n. 1897): 223
RUSSELL: 914
Rusia: 92, 414, 491, 666, 678, 738, 740, 796, 800, 932—933
RUTGERS: 308
RUTHEMANN: 318
RUTHERFORD, Lord Ernst (1871—1937): 144, 151, 221, 260, 329, 332—334, 335—341, 359, 395—396, 397—398, 482, 507, 945
RUTHERFORD, W.: 668
RUTTNER, Franz (n. 1882): 697
RUTTNER-KOLISKO: 698
RUZICKA, Leopold (n. 1887): 433, 853
RYDBERG, Janne (1854—1919): 144, 220, 398
RYLE, Martin (n. 1918): 102, 602, 604

SAAYER: 864
SABATIER, G.: 506
SABATIER, Paul (1854—1919): 428
SABIN, Albert Bruce (n. 1906): 874, 882, 892
SABO: 899
SABOURAUD, Raymond (1864—1938): 826, 909
SACCARDO, Pier Andrea: 810
Saccopastore: 749
SACHS, Julius von (1932—97): 782—783, 811
SACHS: 914
SACKUR: 299
Saclay: 364, 366, 966
SANDU-ALDEA, C.: 733
SAGNAC, Georges (1869—1928): 170
SAHA, Megh Nad (1894—1956): 543—544, 576
SAHAMA, Th. G.: 497, 504
Sahara: 750, 795
SAHINI, V. Em.: 447
SĂHLEANU, V.: 660, 664, 726, 734
SAHNI, B.: 786, 804
Saigon: 965—966
SAILER: 871
Saint-Prest: 749
SAINTE-SEINE, P. DE: 741
SAKEL, Manfred J. (1900—57): 906
SALADIN: 489
SĂLĂGEANU, N. : 757, 758, 759, 760, 770, 773, 777, 780
SALEM, R. : 24, 26
SALK, Jonas E. (n. 1914): 874, 892
SALOMON: 826
Salpêtrière, spitalul: 876
SALTER: 835
SALX, P.: 897
SAMMUELS: 836
SAMUEL, A.: 276
SAMUEL, Pierre: 41
SAMUEL: 127
SANBORN: 316
SANCHEZ: 715
SANDAGE, Allan Rex (n. 1926): 546
SANDBERGER, R.L. Fridolin von (1826—98): 497
SANDEL: 504
SANDER, Bruno (n. 1884): 493
SANDERS, Murray (n. 1910): 840
SANDGROUND: 885
SANDON: 680
SANDSTRÖM, Ivar Victor (1852—89): 850
SANDSTRON: 825
SĂNDULESCU, A.: 392
SĂNDULESCU, D.: 447
SANFORD: 883
San Francisco: 512, 909
SANGER, Frederick (n. 1918): 433
Sankt Petersburg: 281

SANSOME: 719
SANSONE, Giovanni (n. 1888): 68
SANT'AGNESE, di: 866
SANTA-MARIA, A. DE: 735
SANTOS, Reynaldo dos (n. 1880): 825, 862—863
SAPPIN-TROUFFY, P.: 811, 816
SARETT: 428, 856
Sargaselor, marea: 704
SARIO, L.: 63
SASUKIN: 698
SATAKE: 61
SAUERBRUCH, Ernst F. (1875—1951): 911
SAUNDERS, Edith R.: 714, 783
SAUNDERS, Frederick A. (n. 1875): 228
SAURAMO, M.: 745
SAUSSURE, H. DE: 950
SAUSSURE, Théodore DE (1767—1845): 771
SAUTIER, V.: 882
SAUVAGEAU, Camille (1861—1936): 815
SAUVAN, J.: 127
SAVAGE, J.-L.: 107
SAVITCH, P.: 345
SĂVULESCU, Olga: 810
SĂVULESCU, Tr. (1889—1963): 733, 810, 812
SAWER, Walter (n. 1896): 58
SAYÉ: 871
SAYERS, George (n. 1914): 852, 857
SAYRE, J.D.: 779
SAZERAC, R.: 895
Scandinavia: 92, 131, 471, 494, 502, 511, 514, 744, 751
SCALVO, Achille (1861—1930): 890
S.C.A.R.: 976
SCARISBRICK, R.: 768
SCHAEFER, Clemens (n. 1878): 258
SCHÄFER, E.A. — v. SHARPEY-SCHÄFER.
SCHAEFFER: 615
SCHAPIRA, G.: 822, 875
SCHARDT, Hans (1858—1931): 509
SCHARIZER, Rudolf (1859—1935): 491
SCARRER, B.: 685—686
SCHARRER, E.: 685—686
SCHARRER: 857
SCHATZMAN, Evry (n. 1921): 580—581
SCAUB, S.: 741
SCHAUDER, Pawel J.: 76, 131
SCHAUDINN, Fritz Richard (1871—1906): 632
SCHAWLOW, A.: 321
SCHEIN: 368
SCHEINBLUM: 891
SCHELKUNOFF, Serghei A. (n. 1897): 275
SCHELLENG, John Ch. (n. 1892): 315
SCHEMINSKY, Ferdinand O. (n. 1899): 702
SCHENCK, Friedrich R. (n. 1870): 479
SCHENK, H.: 796
SCHERCHEWSKY, Philippe (n. 1892): 101
SCHERFELL, A.: 806, 808, 813
SCHERRER, Paul H. (n. 1890): 345, 476, 478
SCHERRER: 831
SCHEUER: 101
SCHEURING: 704
SCHIAPARELLI, Giovanni V. (1835—1910): 540
SCHICK, Bela (n. 1877): 843
SCHICK: 907
SCHICKARD, Wilhelm (1592—1635): 112
SCHIEBOLD, Ernst (n. 1894): 476
SCHIFFER: 60
SCHILDER, Paul F. (1886—1940): 875
SCHILT, Jan (n. 1894): 551
SCHIMPER, Andreas F.W. (1856—1901): 789, 796
SCHINDEWOLF, Otto H. (n. 1896): 724, 727
SCHINDLER, Rudolf (n. 1888): 827
SCHINZ, Hans R. (n. 1891): 826
SKLOVSKI, I.S.: 582, 602
SCHÄFLI, Ludwig (1814—95): 71
SCHLAGENHAUFER: 850
SCHLESINGER, Hermann I. (n. 1882): 433, 436
SCHLOSS: 844
SCHLOSSER, M.: 737
SCHLOSSMACHER, Karl H. (n. 1887): 483
SCHLÜTER, Arnulf (n. 1922): 583
SCHLUMBERGER, Conrad (1878—1936): 502—503
SCHMIDT, A.: 784
SCHMIDT, Bernhard (1879—1935): 215 522
SCHMIDT, Erhard (1876—1959): 78
SCHMIDT, F.: 698
SCHMIDT, Gerhard (1865—1949): 331
SCHMIDT, H. Willy (1876—1914): 338
SCHMIDT, Johannes (1877—1933): 697, 704
SCHMIDT, O.: 541, 582
SCHMIDT, Wilhelm J. (n. 1884): 493, 672
SCHMITT, Frida (n. 1897): 646
SCHMITZ, C.J.F.: 806, 809, 814
SCHMITZ: 680
SCHMUCKER, Th.: 784
SCHNARF, K.: 788
SCHNEIDER, I.A.: 447
SCHNEIDER, J.: 897
SCHNEIDER, W.C.: 780
SCHNEIDERHÖHN, Hans (n. 1887): 496, 504
SCHNELL, R.: 799
SCHNELLER, Heribert (n. 1901): 560—561
SCHNIRELMANN: 26
SCHNITZER, R.J.: 896
SCHÖNBEIN, Christian F. (1799—1868): 497

SCHÖNBERG, A.: 824
SCHOENFLIES, Arthur M. (1853—1928): 476
SCHOENHEIMER, Rudolf (1898—1941): 397, 441, 621, 780
SCHOENICHEN: 680
SCHÖNLEIN, Johann L. (1793—1864): 886
SCHOENNE: 665
SCHOPFER, William H. (1900—62): 755
SCHOTTKY, Fridrich (1851—1935): 58
SCHOTTKY, Walter (n. 1886): 264, 267, 271, 291, 302
SCHOUTEN, Jan Arnoldus (n. 1883): 89
SCHRECK: 884
SCHREIER, Otto (1901—29): 38
SCHRIEFFER: 309—310, 318
SCHROEDER: 913
SCHRÖDINGER, Erwin (1887—1961): 14, 111, 147, 149—150, 161, 222—223, 381, 399—400
SCHRÖTER, Carl (1855—1925): 796, 810
SCHÜFFNER, Wilhelm (n. 1867): 880
SCHÜLLER, Artur (n. 1874): 868
SCHÜTT, F.: 809
SCHUETTE, Henry A. (n. 1885): 440
SCHULL: 721
SCHULTES, R.E.: 793, 809
SCHULTZ, J.: 711
SCHULTZE, Maximilian J.S. (1825—74): 668
SCHULZ, Bruno C.H. (1888—1944): 698
SCHULZ-DUBOIS, E.: 297
SCHUMANN, Victor (1841—1913): 217
SCHUMM, Otto (1874—1958): 879
SCHUR, Issai (1875—1941): 33, 38
SCHUSTER, Sir Arthur (1851—1934): 575, 577
SCHUSTER, P.: 615
SCHUTZENBERGER, M.P.: 103—105, 115
SCHWACHMAN: 866
SCHWARTZ, G.M.: 496
SCHWARTZ, Laurent: 51, 72, 76, 82, 270
SCHWARTZ: 682
SCHWARTZ: 832
SCHWARZ, K. Hermann A. (1843—1921): 73
SCHWARZSCHILD, Karl (1873—1916): 521, 532, 535, 550—551, 575
SCHWARZSCHILD, Martin (n. 1912): 546, 581, 583
SCHWENK, Erwin (n. 1887): 854
SCHWINGER, J.: 153, 391
Science Advisory Board: 942
SCLAFER, J.: 822
S.C.O.R.: 976
SCORZA, Gaetano (n. 1876): 87
Scoţia: 679, 786, 800
SCOTT, Dukinfield H. (1854—1924): 785—786, 803
SCOTT, Elisabeth L. (n. 1917): 102
SCOTT, L.I.: 786
SCOVIL, H.: 297
SEABORG, Glenn Th. (n. 1912): 348, 421, 944
SEARES, Frederick (n. 1873): 554
SEASHOW: 832
SEBRELL, William H. (n. 1901): 847
SECCHI, Angelo (1818—78): 543
SEDDON, Herbert J. (n. 1903): 911
SEDERHOLM, Jacob J. (1863—1934): 493
SÉE, G.: 880
SEEBECK, Thomas Johann (1770—1831): 262
SEELIGER, Rudolf (n. 1886): 175
SEGAL: 39
SEGĂRCEANU, T.: 448
SEGRE, Beniamino (n. 1903): 64, 88
SEGRE, Corrado (1863—1924): 85, 88
SEGRÉ, Emilo (n. 1905): 349, 379, 389, 421, 929, 944
SEIDEL, H.: 297
SEIFERT, Karl (n. 1907): 90
SEIFTER, R.: 623
Seine, valea de la: 745
SEINHARD, S.: 839
SEITZ, F.: 303, 482, 487
SEITZ: 909
SEKI KOWA (1642—1708): 974
SELBERG, A.: 24
SELYE, Hans (n. 1907): 124, 664, 855
SELMICIU, I.: 448
SEMENENKO, N.P.: 494
SEMENOV, Nicolai N. (n. 1896): 404, 936
SÉNAC, Jean-Baptiste (1708—77): 860
SÉNARMONT, Henri HUREAU DE (1808—62): 499
SENDERENS, Jean-Baptiste (1856—1937): 428
SENDRAIL: 837
SENN, G.: 808
SENN, Nicholus (1844—1908): 908
Sept-îles, rezervaţia din: 700
SERBER, R.: 362
Serbia: 953
SERGENT, Edmond (n. 1876): 683
SERGENT, Étienne (1878—1948): 683
SERRE, Jean-Pierre: 34, 36, 41, 64, 90
Serviciul Geografic al Armatei: 456
— Internaţional al Latitudinilor: 471, 529
SETON: 692
SÈVE, P.: 483
SEVERI, Francisco (1879—1961): 36, 64, 85—86, 130
SEVERIN, Em.: 445
SEVERNÎI, A.B.: 535
SEWARD, A.: 507

SEWARD, A.C.: 786, 796
SEYFARTH, Carly P. (n. 1890): 829
SEYFFARTH: 831
SEYLYE: 886
SHALÉN: 568
SHAMBAUGH, George E. (n. 1903): 915
SHAND: 505
SHANE: 102
SHANNON, Cl. E.: 104—105, 109—111, 114, 116, 119, 122
SHANTZ, E.M.: 761
SHANTZ, H.L.: 779
SHAPIRO, Harry N. (n. 1902): 26
SHAPLEY, Harlow (n. 1885): 546, 558—560, 562, 565, 570—571, 595
SHAPLEY: 125
SHARPEY-SCHÄFER, Sir Edward Albert (1850—1935): 850, 856
SHAW, J.C.: 128
SHEEHAN, John C.: 435
SHELFORD, Victor E.: 692
SHERMAN, J.: 487
SHERMAN: 909
SHERRINGTON, Sir Charles Scott (1857—1952): 666—668, 670, 831
SHIMIZU, Tatsujiro (n. 1897): 57
SHIPLEY: 674
SHIVE, J.W.: 778
SHLAIFER: 705
SHOCKLEY, William (n. 1910): 303—305, 482
SHORB, Mary S. (n. 1907): 848
SHUBCK: 125
SHULL, Franklin (n. 1881): 708
SHULL, G.H.: 813
SHULL: 249
SIAT, A.: 484
Siberia: 679, 750, 752, 786
Siboga, navă oceanografică: 678
SICARD, Jean A. (1872—1929): 823—824, 863, 870
SIDDIQUI: 897
SIDGWICK, Nevil Vincent (n. 1873): 400, 407, 417, 419, 425, 429, 487
SIEBERT: 817
SIEBOLD, Carl Th. Ernst von (1804—85): 690
SIEDENTOPF, Henry (1872—1940): 672
SIEGBAHN, Karl Manne G. (n. 1886): 350, 475
SIEGEL, Carl L. (n. 1896): 23, 26, 40, 61, 66, 87, 130
SIEMENS, Werner von (1816—92): 322
SIEMENS: 721
SIERPINSKI, Waclaw (n. 1882): 25, 27, 30, 131
SIKKELAND, T.: 422
SILBER: 836
SILBERG, I.: 446
SILIN: 318
SILVERMAN: 829
SILVESTRI: 676
SIMART, Georges (1846— ?): 85
SIMIONESCU, Cristofor: 446, 448
SIMIONESCU, I.: 738, 747
SIMIONESCU, Ligia: 664
SIMMONDS, Morris (1855—1925): 851
SIMON, Franz (n. 1893): 243
SIMON, Hermann (1870—1918): 256
SIMON, H.A.: 128
SIMON, Théodore (n. 1873): 876
SIMON: 381
SIMON: 871
SIMON, Zeno: 447
SIMONET, M.: 788
SIMONET: 718—719
SIMONNET: 846—847
SIMPSON, George Gaylord (n. 1902): 701, 726, 741—742
SIMPSON, J.W.: 904
SIMPSON, Sir James Young (1811—70): 911
SIMPSON, M.E.: 856
SINGER, R.: 811
SINGER: 859
SINGH, Avaresh Narayan (n. 1901): 959
SINJERMAN: 847
SINNOTT, E.W.: 806
SINSERT: 845
SINTON, W.: 541
Siria: 952
SIRKIS, M.: 320
SITENKO: 316
SITTER, Willem de (1872—1934): 599
SIVÉN: 866
SJÖSTRAND, F.J.: 614, 789
SKLOVSKI: 582
SKOBELȚÎN, Dmitri Vl. (n. 1892): 367
SKOGLUND: 831
SKOLEM, Thoralf A. (n. 1887): 26
SKOOG, F.: 757, 761
SKOTTSBERG, C.: 804
SLATER, E.C.: 768
SLATER, J.: 689
SLATER, John Clarke (n. 1900): 278, 400, 418
SLIPHER, Vesto Melvin (n. 1875): 540, 566, 572, 596
SLIV, L.: 350
SLOAN, D.H.: 357
SLOCUMB, C.H.: 899
SLONIMSKI: 717
SLOSS: 506
SLYE, Maud (n. 1879): 885

SMALE: 37
SMEKAL, Adolf (n. 1895): 482
SMIRNOV, V.I.: 496
SMITH, A.C.: 805
SMITH, E. LESTER. — V. LESTER SMITH.
SMITH, F.G.: 605
SMITH, G.: 684
SMITH, G.M.: 803, 806
SMITH, Homer William (n. 1895): 862
SMITH, J.: 283
SMITH, J.L.B.: 678
SMITH, Lee Irvin (n. 1841): 436
SMITH, M.: 871
SMITH, Philip E. (n. 1884): 852
SMITH, R.: 800
SMITH, R.E.: 817
SMITH, S.: 320
SMITH, Willoughby (1828—91): 303
SMITH: 114
SMITH: 683
SMITH: 835
SMITH: 847
SMITH: 864
SMITH: 880
SMITHERS: 910
SMITH-PETERSEN, Marius N. (1886—1953): 911
SMITH-WOODWARD, A. (1864—1944): 737
SMOLUCHOWSKI, Maryan (1872—1917): 99, 141, 232
SMOOT: 284
SMULLIN, L.: 316
SMUTS, general: 726
SNITIES: 833
SNODGRASS: 680
SNOEK, Jacob L. (n. 1902): 249
SNOW, M.: 784
SNOW, R.: 784
SNYDER, C.: 940
SNYDER: 364
SOBOLEV, Serghei L. (n. 1908): 76, 82, 576, 936
Societatea asiatică a Bengalului: 961
Societatea de Biografie din Paris: 511
Soda Fabrik: 402
SODDY, Frederick (1877—1956): 332—334, 337, 396
SÖDING, Hans (n. 1898): 756
SÖRENSEN, C.: 797
SOHIER, R.: 882
SOLACOLU, S.: 449
SOLANDT: 831
SOLEDERER, H.: 787
SOLMS-LAUBACH, Hermann (1842—1915): 796
Solvay, Congresele: 251, 928
SOMIGLIANA, Carlo: 461
Somme, valea: 743, 745
SOMMERFELD, Arnold (1868—1951): 145, 195, 221, 244, 246, 262, 264, 271, 294, 298—301, 325, 327, 399, 474
SOMNER, A.L.: 778
Sonde, arhipelag: 510
SONNEBORON: 680, 682, 716
SØRENSEN, Sören (1868—1939): 405, 621
SOSKIN: 850
SOCIAVA, V.B.: 800
SORESCU, C.: 641
SOTELO, R.J.: 614
SOUÈGES, René (n. 1876): 787
SOULAIRAC: 659
SOULIER: 720
SOURDILLE, Maurice: 915
SUSLIN, Michail (1894—1918): 29
SOUTHERN: 173
SOUTHWORTH, G.C.: 273, 275, 601
SPACEK: 92
SPACU, Gh. (1883—1955): 444, 447
SPALLANZANI, abbé Lazzaro (1729—99): 230
SPANDL, H.: 699
SPANGENBERG, Kurt F. (1884—1957): 481
Spania: 666, 739, 746, 825, 929
SPARKS: 305
SPARROW, F.K.: 809, 813
SPATH: 680
SPEEDING, Frank H. (n. 1902): 423
SPEMANN, Hans (1869—1941): 630, 643
SPENCER: 36
SPENCER: 682
SPENCER-JONES, Sir Harold (1890—1960): 526, 530
SPENGEL, Johann W. (1852—1921): 689
SPENKE, Eberhard (n. 1905): 271
SPERANŢIA, E.: 734
SPERRY: 120
SPIEGEL: 914
SPIES, Tom D. (n. 1902): 901
SPILLER, William G. (1863—1940): 914
SPINOZA, Baruch (1632—77): 161
SPITALER, Rudolf (1859—1946): 744
SPITZER, Lyman (n. 1914): 314, 579, 582
SPITZER: 860
SPRENGEL, Ch. Konrad (1750—1816): 813
SPRUCE, R.: 950
STACH, Erich W. (n. 1896): 680
STADLER, L.: 717
STAFFORD, BERR: 127
STAHMANN, Mark A. (n. 1914): 904
STAKMAN, E.C.: 812
STALLINGS: 37
Stanford, Universitatea: 252, 276, 364, 379
STANFUSS: 714
STANLEY, C.S.: 565

STANLEY, Wendell M. (n. 1904): 634, 780, 838
STANLEY JONES, D.: 119
STANLEY JONES, K.: 119
STANO: 720
STANSLY, Philip G. (n. 1912): 894
STARCOVICI: 683
STARK, Johannes (1874—1957): 145, 221, 294, 316, 577, 926
STARKE, Oscar (n. 1874): 264
STARLING, Ernest Henry (1866—1927): 652, 657, 862
Statele Unite: 92, 129—132, 278—279, 281, 285, 303, 347—348, 357, 363, 366, 370, 373, 375—376, 399, 408, 423, 428, 430—432, 435, 458, 471, 476, 497, 502, 521, 526, 546, 560, 568, 570, 584—588, 601—604, 666, 669, 684, 693, 695—700, 708, 715, 738, 743, 750, 774, 779, 782, 786, 790—793, 797, 801—804, 805, 824, 826, 843, 848, 866, 873, 877, 895, 907—909, 911—913, 915, 923, 931, 938—946, 956, 970
STAUDINGER, Hermann (n. 1881): 619
STEBBINS, G.L. Jr.: 794, 814
STEBBINS, Joel (n. 1878): 524, 552, 554, 556, 568
STEELE: 897
STEEMAN-NIELSEN, E.: 696
ŞTEFĂNESCU, Gr.: 733, 753
STENBOCK, Harry (n. 1886): 439, 845
STEENROD, N.E.: 34, 43
STEERE, William C.: 793, 802
STEFAN, Josef (1835—93): 142
STEFFEN, Hans (1865—1936): 950
STEHLIN, H.G. (1870—1941): 736—737
STEIGER, Marguerite: 855, 899
STEIN, Friedrich von (1818—85): 681, 808
STEIN, Karl: 64, 90
STEINACH, Eugen (1862—1944): 853
STEINBERG, Israel (n. 1902): 825
STEINBERG, J.L.: 602
STEINBERG: 839
STEINER, Hans (n. 1888): 707
Steinheim: 749
STEINITZ, Ernst (1871—1928): 32, 40, 133
STEINMETZ, Charles P. (1865—1924): 269
STEINMETZ, Hermann (n. 1879): 484
STEKLOV, Vladimir A. (1864—1926): 933
STELLMACHER, Karl (n. 1909): 75
STENBECK, Thor: 908
STENSIÖ, E.: 740
STEOPOE, I.: 639, 640, 641, 688
STEPANOV, Vlaceslav V.: 51
STERN, Otto (n. 1888): 221, 244, 246
STERNE, T.E.: 555
STERNECK, von: 459
STETSON: : 650, 859
STETTEN 867
STEVENS, Miss N.M.: 709
STEWARD, Frederick C. (n. 1904): 761, 778
STEWART, George N. (1860—1930): 855
STEWART: 263
STEWART: 478
STEYERMARK, J.A.: 793
STIBBS, D.W.N.: 562
STIEFEL, Eduard L. (n. 1909): 36
STIELTJES, Thomas J. (1856—94): 29, 59, 82
STILES, W.S.: 669
STILL, Sir Georges F. (1868—1941): 899
STILLWELL: 168
STIZENBERGER, E.: 807
STOCK, Alfred (1876—1946): 425
STOCK, A.H.: 879
STOCKARD, Charles R. (1879—1939): 854
Stockholm: 740, 786, 825, 909
STÖCKMANN, Fritz: 303
STÖRMER, Carl (1874—1957): 537
STÖRMER: 680
STOILOW, Simion (n. 1887): 63, 134
STOKES, Adrian (1887—1927): 891
STOKES, Sir George G. (1819—1903): 257, 288, 292, 462
STOKES, William (1804—78): 897
STOKES: 864
STOLL, Arthur (n. 1887): 769, 772
STOLLTE, H.A.: 690
STOLTZ: 52
STOLZ, Friedrich (1860—1936): 851
STONE: 909
STONER, Edmund C. (n. 1899): 226, 278, 581
STONEY, G. Johnstone (1826—1911): 254, 256
STOPES, M.C.: 497
STORAALSI: 909
STOREY, L.: 273
STORM VAN LEEUWEN, Willem (1882—1933): 844
STOSCH, H.A.: 809
STOUT, P.R.: 778
STOYKO, Nicolai (n. 1894): 531
STRAELEN, von: 680
STRAIN, Harold H. (n. 1904): 771, 807
STRAMPELLI: 915
STRANSKI, Ivan N. (n. 1897): 481
Strasburg: 524
STRASBOURGER, Eduard (1844—1912): 814
STRASSMAN, Fritz (n. 1902): 345
STRATTON, Frederick J.M. (1881—1960): 536
STRATTON, Julius Adams (n. 1901): 327
STRAUBEL: 824

STRAUS: 831
STRAUSER: 249
STRAUSS, L.L.: 382
STREET, K. Jr.: 421
STREETER: 641
STRELL, Martin (n. 1912): 436
STROESCU, Gh.: 734
STRICKER: 852
STRÖMGREN, Bengt (n. 1908): 554, 576, 578, 580, 582
STRONG: 720
STRUGGER, S.: 789
STRUNZ, Karl Hugo (n. 1910): 491
STRUTT, John William — v. Lord RAYLEIGH
STRUTT, M. Julius O. (n. 1903): 301
STRUVE, Otto (n. 1897): 545, 559
STUART: 650
STUDENT (William S. GOSSET) (1876—1937): 97
STUGREN, B.: 734
STULBERG, C.S.: 881
STURGE: 873
STURM, Charles (1803—55): 73
STURM: 884
STURTEVANT, Alfred Henry (n. 1891): 710, 714, 718, 945
Stuttgart: 697
SUBBOTIN, Michail F. (n. 1893): 532
SUCHET, J.P.: 307
SUDAN, Gabriel: 134
SUË: 843
Suedia: 92, 350, 414, 501, 503, 571, 685, 698, 708, 739, 786, 804, 824, 866
SUESS, Edward (1831—1914): 501, 503
SUESS: 355
SUHL: 306
SULC: 684
SULLIVAN: 868
SULZEN: 830
SUMMER, F.H.: 127
SUMNER, James B. (1887—1955): 621—622, 718
SUNDARARĀJĀCĀRYAR: 959
SUNDBERG, D.: 886
SUNDMAN, Karl F. (1878—1949): 66, 68, 532
SUNYER I BALAGUER: 60
SUȘRUTA: 960
SUREAU: 879
Surinam: 795
SUTHERLAND: 850
SUTTON, W.S.: 709, 788
SUTTON: 277
SVEDBERG, Theodor (n. 1884): 408, 833
SVEDELIUS, N.: 815
SWAN: 913
Swanscombe: 748
SWARTS, Frédéric B. (1866—1940): 425
SWARTZ, C.K.: 491
SWEET: 912
SWICK, M.: 863
SWINGLE, Wilbur W. (n. 1891): 855
SWINTON, Alun (1863—1930): 281
SYAARDINA: 831
SYDENSTRICKER: 847
Sydney: 602, 604
SYKES, M.G.: 803
SYLVESTER, James Joseph (1814—97): 130
SYNGE, Richard L.M. (n. 1914): 415, 769, 780
SZEGÖ, Gabor (n. 1895): 59—61
SZENT-GYÖRGYI, Albert (n. 1893): 616, 626, 654, 763—764, 847—848, 865
SZILARD, Leo (n. 1898): 110—111, 347, 944
SZILARD: 909

Șangai: 968—969
Școala Normală Superioară (Paris): 602, 966
Școala Politehnică (Paris): 377
Școala Politehnică (Milano): 460
Șeikin: 68
ȘERBAN, M.: 734
ȘUBNIKOV: 476, 478, 481
ȘU-KU-TIEN: 748, 750

TACKE, Ida (NODDACK-TACKE) (n. 1896): 421
TÄCKHOLM, G.: 788
TAGNON: 650
Taiwan: 756
TAKAKI, Kanehiro (1849—1915): 438, 846
TAKAMINE, Jôkichi (1854—1922): 850—851
TAKATA, Maki (n. 1892): 833
TAKHTAJAN, A.L.: 805
TALAIRACH: 825, 914
TALBOT: 881
TALIAFERRO, L.N.: 684
TALIAFERRO, W.H.: 684
TALMAGE, S.B.: 486
TAMAGAWA: 40
TAMAHAUSER: 835
TAMM, Igor E. (n. 1895): 316, 553, 936
TAMMAN, Gustav (1861—1938): 420, 480
TANAKA: 721
TĂNASE, Viorica: 777, 780
TĂNĂSESCU, Ion (1892—1959): 445
TANDLER: 853
Tanganika: 747
TANIGUCHI, Tenji: 881

TANNERY, Jules (1848—1910): 63
TANRET, Ch.: 845, 907
TANSLEY, A.G.: 783, 808
TAPLIN: 835
TARASOFF: 880
TARDI, Pierre (n. 1897): 502
TARNAVSCHI, I.: 734
TASAKI, L.: 669
Tata, Institut pentru Cercetări Fundamentale: 962
TATANAJEV, N.A.: 410
TATE: 40
TATUM, Edward Lawrie (n. 1909): 715, 945
TATUNO, S.: 802
TAUBE, M.: 124
TAUSON: 688
TAUSSIG, Helen Brooke (n. 1898): 825, 860, 912
TAWARA, Sunao (n. 1873): 653
TAYLOR, Brook (1685—1731): 26, 50, 59
TAYLOR, G.J.: 509
TAYLOR, Geoffrey I. (n. 1886): 200
TAYLOR, Hugh S. (n. 1890): 430
TAYLOR: 718
TEACHER, John Hammond (1869—1930): 641
TEAL: 305
TEAR, J.: 217, 275, 320
TECLU, N. (1839—1916): 445
Teddington: 459
TEILHARD DE CHARDIN, le P. Pierre (1881—1955): 741, 750
TEILLAC, Jean: 219, 220, 491
TEIS, R.V.: 774
TEISSIER, Georges (n. 1900): 691, 698, 719, 726
TEIXEIRA, C.: 739
TELLEGEN, Bernardus D.H. (n. 1900): 267
TELLER, Edward (n. 1908): 353, 580, 944
TEODORESCU, M.: 641
TEODORESCU, N.: 53, 134, 393
TEODORESCU, N.: 734
TER KUILE, Émile: 668
TERMAN, Lewis Madison (n. 1877): 876
TER. MARTIROSYAN: 363
TERMIER, Geneviève: 493, 494, 505
TERMIER, Henri: 493, 494, 505
TERMIER, Pierre (1859—1930): 493—494
TERRA, H. DE: 750
TERRACINI, Alessandro (n. 1889): 88
TERROINE, Émile: 867
TERZAGHI, Anton von (1883): 189
TESLA, Nikola (1856—1943): 268, 323
TESSIER: 879
Tessin: 740
TESZNER, S.: 305
TETRODE: 299
TÊTRY, Andrée: 470, 507, 613, 636, 638, 642, 671, 727, 788, 789, 841
TEUTSCH, J.: 753
THAXTER, Roland (1858—1932): 812
THAYSSEN: 837
THEILER, Max (n. 1899): 891
THEISSEN, F.: 812
THELLIER, E.: 469
THEORELL, A. Hugo Th. (n. 1903): 622, 654, 763
THEUERER: 303
THIBAUD, Jean (n. 1901): 340, 342, 385
THIBAULT: 717
THIEFFRY, S.: 875
THIELE: 680
THIENEMANN, August (1882—1960): 697, 701
THIMANN, K.V.: 756
THIRION: 231
THOM, René: 37
THOMAS, H.: 786
THOMAS, R.N. (n. 1921): 583
THOMAS: 717
THOMPSON, S.G.: 421
THOMPSON, Sir D'ARCY W.: 884
THOMPSON: 911
THOMSEN, Julius (1826—1909): 401, 402
THOMSON, Elihu: 322
THOMSON, George Paget (n. 1892): 285, 477
THOMSON, Sir Joseph John (1856—1940): 151, 220, 240, 254—257, 259—263, 275, 283, 286, 289, 325, 328, 332, 337, 396—397, 412
THOMSON, Sir William (Lord KELVIN) (1824—1907): 239, 260
THON, W.: 320
Thonon (Franța): 698
THORAUDE: 824
THORN, George W. (n. 1906): 649, 836, 898
THORPE: 703
THRELFALL, William (1888—1949): 90
THUE, Axel (1863—1922): 23, 25
THULLEN, Peter (n. 1907): 57, 61, 64
THUNBERG, Torsten L.: 625, 762, 764, 770
THURET, Gustave (1817—75): 638, 806
TIBAKOWA, E.T.: 767
Tibesti: 748, 750
Tibet: 970, 972
TIFFENEAU: 837
TIGERSTEDT, Robert A.A. (1853—1923): 861
TIHOF, Gabriel (n. 1875): 553
TIJO, J.H.: 720, 843

TILAK, B.G.: 959
TILLMAN: 360
TILLYARD, R.J.: 675, 680
TIMOFEEV-REZOVSKI, N.W.: 713, 717
TIMOŞENKO, Stepan (n. 1878): 189
TINBERGEN, Nikolas (n. 1907): 703
TINEL: 904
TING WEN-KIANG: 968
TIPPO, O.: 803
TISCHLER: 694
TISELIUS, Arne (n. 1902): 408, 414, 833, 930
TISSOT, Jules: 653
TITIUS (Johann D. TIETZ) (1729–66): 594
TITOV, H.: 937
TITS: 85
TITSCHACH: 702
TITTENBERG: 621
TOBIEN, Heinz (n. 1911): 739
TOBLER, G.: 812
TOCANTINS: 651
TOCHMANN: 890
TODD, Sir Alexander R. (n. 1907): 428, 623, 848, 860, 890
TODD, Edgar W. (1889—1950): 879
TODD, John A. (n. 1908): 36
TÖPLITZ, Otto (1881—1940): 50
TOGLIATTI, Eugenio G. (n. 1890): 88
Tokay-mura: 973
Tokio: 973
TOLMAN, Richard (n. 1881): 263
TOMBAUGH, Clyde Williams (n. 1906): 532, 539
TOMONAGA, S.I.: 153, 391
TONELLI, Leonida (n. 1885): 73
TONI, J.B. DE: 806
TONKS, Lewi (n. 1897): 287, 314
TONNELAT, Marie-Antoinette: 175, 185, 351
TONOLO, Angelo (n. 1885): 53
TOOLAN, Helene W.: 666
TORNEHAVE, H.: 62
Toronto: 521
TORRÈS: 882
TORRES QUEVEDO, Leonard (1852—1936): 115, 127
TORRICELLI, Evangelista (1608–47): 212
TORTRAT: 100
Toscana: 699
TOTTINGHAM, W.: 778
Toulouse, laboratorul de microscopie electrică din: 285
TOURAINE: 886
TOURNADE: 851
TOURNEFORT, Joseph PITTON DE (1656—1708): 794
TOWER, S.: 831
TOWNSEND, John C. (1868—1957): 256, 260, 286
TOWNES, C.H.: 296, 321
TRANDABURU, V.: 639
Transvaal, Republica: 700
TRAPPE: 414
TRAUGOTT, Straub: 837
TRAUTZ, W.: 403
TREBST, A.V.: 774
TRÉFOUËL, Jacques (n. 1897): 895
TRÉFOUËL, Mme Th. J.: 895
TRENDELENBURG, Friedrich (1844—1924): 669
TRESSE, Arthur (1868—1958): 70
TREUB, Melchior (1851—1910): 787
TRIBONDEAU, L.: 909
TRICART, J.: 745
TRICOMI, Francesco G.F. (n. 1897): 76
Trieste, batiscaful: 696
TRILLAT, Jean-Jacques (n. 1899): 477
Tripolitania (Libia): 953
TRIVELPIECE: 316, 317
TROCHAIN, J.: 799
TRÖGER, Walter E. (n. 1901): 493, 505
TROISIER, J. (1881—1945): 869
TROIANSKII, P.P.S.: 122
TROLL, W.: 785
TROMBE, Félix: 234
TROPSCH, Hans (1889—1935): 436
TRUBNIKOV: 316
TRUELBLOOD, K.N.: 848
TRÜMPLER, Robert (1866—1956): 178, 567
TRUESDELL, Clifford A. (n. 1919): 189
TRUETA, Joseph (n. 1897): 911
TSAI YUAN-PEI: 968
TSCHERMAK VON SEYSENEGG, Erich (1871—1962): 708, 712, 719
TSCHERMAK-SEYSENEGG, Gustav von (1836—1937): 479
TSCHERNING, Marius (1854–?): 211
TSIEN, HIUE-SEN: 971
TUBIANA, M.: 822
Tucuman: 948
TU DUC, împărat în Vietnam: 965
TUFFIER: 824
TUFFRAU: 682
TULASNE, Charles (1884): 811
TULASNE, Louis-René (1815–85): 811
TULLER: 111
Tunis: 953
Tunisia: 953
TUNTURI: 669
TŪNUSĪ, Muhammad ibn Umar al-(XIXe s.): 955
TUPPER, W.W.: 787
TURAN: 25, 60
TURESSON, G.: 794

TURING, A.M. (1912–54): 114
TURK: 882
TURNER, F.S.: 495
TURNER, Henry H. (n. 1892): 720, 842
TURPIN, Raymond (n. 1895): 721, 843
TURPIN: 831, 837, 890
Turcia: 953, 956
TUSTIN: 120
TUTOVAN, V.: 244
TUTTLE, O.F.: 499
TUVE, Merle A. (n. 1901): 272, 278
TUZET, Odette: 687
TYCHO BRAHÉ (1546—1601): 518
TYLER, S.A.: 786
TYNDALL, John (1820–93): 225
TZANCK, A.: 907

Țările de Jos: (vezi și Olanda)
Țvet, Mihail: 414, 772
ȚIȚEICA, George (n. 1873): 88, 134
ȚIȚEICA, Șerban: 392

U.A.I. (Uniunea Astronomică Internațională): 102, 525, 539
U.A.T.I.: 976
U.G.G.I.: 471, 584
UHLENBECK, George Eugene (n. 1900): 148, 244, 399
UHLIR: 306
U.I.C.N.: 792
U.I.P.N.: 792
ULLYETT: 694
Ulm: 160
ULUGH-BEG (1394—1449): 954
UNESCO: 674, 976—977
UNGAR, G.: 904
Ungaria: 131, 756, 848
UNGUREANU, E.: 683
Uniunea Internațională pentru Studiul Cuaternarului: 743
Uniunea Internațională pentru Conservarea Naturii (U.I.C.N.): 792
Uniunea Internațională pentru Protecția Naturii (U.I.P.N.): 700, 792
Uniunea Internațională pentru Protecția Resurselor Naturale: 976
Uniunea Asociațiilor Tehnice Internaționale (U.I.T.N.): 976
UNSÖLD, Albrecht (n. 1905): 576—577, 583
UNVERRICHT, Heinrich (1853—1912): 886
Uppsala: 366
Ural: 933
URBAIN, Georges (1872—1938): 420, 422, 484, 489
UREY, Harold C. (n. 1893): 226, 343, 358, 397, 416, 582
U.R.S.S.: 92, 129—131, 291, 323, 363, 370, 373, 413, 422, 428, 458, 467, 471, 476, 478, 503, 505, 526—527, 532, 560, 584—588, 602, 678, 694—695, 698, 759, 774, 792, 795, 797, 800, 923, 932—937
URSU, I.: 253
URYSOHN, Paul (1898—1924): 30, 131
U.S.A. — v. Statele Unite
U.S. Atomic Energy Commission: 422
U.S. Department of Agriculture: 793
USANOVICI, M.: 407
UȘAKOV, P.: 678
UTIDA: 694
UTTLEY, A.M.: 127
UVAROV: 705

VÂGHBAȚA (VIIe s.): 960
VAILLARD, Louis (1850—1935): 890
VAILLARDET: 890
VÂLCOVICI, V.: 134, 393
VALIRON, Georges (1884—1959): 55, 58, 60, 63, 65
VALLEBONA: 826, 863
VALLÉE, R.: 111
VALLOIS, Henri-Victor (n. 1889): 749
VALLARTA, Manuel S. (n. 1899): 368
VALOIS, DE: 669
VAN ALLEN, J.A.: 311, 370, 582, 590
VAN BENEDEN, Édouard (1846—1916): 638
VAN BOGAERT: 875
VAN BOMMEL, A.J.: 431
VAN CAMPO, Mme: 746
VAN CITTERT, Pieter H. (n. 1889): 327
VAN CREVELD: 650, 842
VAN DE GRAAF, Robert J.: 357, 364
VAN DE HULST, Hendrick C. (n. 1918): 568, 578, 602, 604
VANDEL, Albert (n. 1894): 677, 690, 699
VANDENDRIES, René F. (n. 1874): 817
VAN DER CORPUT, Johannes G. (n. 1890): 25
VAN DER POEL: 115
VAN DER POL, Balthasar (1909–59): 68, 76, 271
VAN DER WAALS, Johannes (1837—1923): 242, 487
VAN DER WAERDEN, Bartel L. (n. 1903): 40, 130
VAN DER WEIJ, H.G.: 756
VAN DER ZIEL, A.: 271
VAN HISE, Charles R. (1857—1918): 493
VAN IPEREN, B.: 319
VAN ITERSON, G.: 884
VAN KAMPEN: 735

VAN MAANEN, Adriaan (1884—1946): 570
VAN MARKOW: 830
VAN NIEL, C.B.: 768—772, 775
VAN NIEUWENBURG, Cornelius J. (n. 1889): 499
VAN OVERBEEK, J.: 760—761
VAN SLYKE, Donald D. (n. 1883): 652, 835, 862
VAN STEENIS, G.G.J. (n. 1901): 795
VAN'T HOFF, Jacobus Henricus (1852—1911): 401, 403, 405, 417, 430, 497
VAN TIEGHEM, Philippe (1839—1914): 782, 785, 811
VAN TRIER: 320
VAN VLECK, John Hasbrouck (n. 1899): 59, 246, 250, 293
VAQUEZ, Louis (1860—1936): 863
VARGA: 26
VARIAN, R.: 276
VARIAN, S.: 276
VAROPOULOS, Théodore: 59
VASALEK: 198
VASCHY: 188
VASILESCU, Bogdan: 448
VASILESCU, Fl.: 134
VASILESCU-KARPEN: 338
Vassincourt, platoul: 746
VAUCOULEURS, Gérard DE: 556
VAUFREY, R.: 746
VAULX, R. DE LA: 689
VAVILOV, N.I.: 792
VAVILOV, Serghei I. (1891—1951): 936
VEBLEN, Oswald (n. 1880): 90, 131
VEGARD, Lars (n. 1880): 483
VEKSLER, V.I.: 363
VEKUS, N.: 54
VELDSTRA, H.: 761
VENDRÉLY, Colette: 718
VENDRÉLY, Roger: 718
VENING MEISNESZ, Felix Andries (n. 1887): 460, 462, 510
VENNING: 855
VERDOORN, Frans (n. 1906): 802
VERGE: 880
VERHARGHE: 826
VERHOEFF: 680
VERHOOGUEN, J.: 495
VERLUST: 694
VERNADSKI, Vladmir I. (1863—1945): 497—498, 504
VERNEY, Ernest Basil (n. 1894): 862
VERRY: 857
Versailles, tratatul de la: 968
VERONESE, Giuseppe (1854—1917): 32
VERSCHUER, von: 721
VESCAN, Th.: 392
VESSIOT, Ernest (1865—1952): 69, 70
VESTER, H.: 796
VESTINE: 467
VETTER: 835
VEXHÜLL: 703
VIALLETON, Louis (1868—1930): 723, 735
VIAUD, Gaston: 682, 702
VICKERS: 486
VICKERY, Hubert B. (n. 1893): 621
VICTOREEN: 827
Victoria, Observatorul: 521
VIEILLE, Paul (1854—1934): 188
Viena: 410, 724, 824, 873
VIERODDT, Karl (1818—84): 647
Vietnam: 924, 964—967
Vietnamul de Nord: 965—966
Vietnamul de Sud: 965—966
VIETS: 875
VIGIER, Jean-Pierre: 154
VIGNAUD, J.: 53
VIGNEAUD, Vincent DU (n. 1901): 441, 857
VÎLCEANU, R.: 449
VILKINSON: 906
VILLA: 88
VILLARD, Paul (1860—1934): 328, 333, 909
VILLAT, Henri (n. 1879): 187
VILLE J.: 111, 124
VILLEMIN, Jean-Antoine (1827—92): 870, 892
VINCENSINI, Paul F. (n. 1896): 88
VINCENT, Clovis (1879—1947): 873, 914
VINCENT, Hyacinthe (1862—1950): 883
VINCI, Leonardo DA (1452—1519): 21
VINOGRADOV, A.P.: 774
VINOGRADOV, Ivan M. (n. 1891): 25, 131, 936
VÎNTU, V.: 448
VIRÉ, Armand: 699
VIRTANEN, Artturi I. (n. 1895): 765
VISCHNIAC, W.: 775
VÎSOTSKI, G.N.: 860
VITALI, Giuseppe (1875—1932): 58
VITKEVICI, V.K.: 604
VITTER: 704
VITZU, Al.: 658
VLAD, M.: 639
VLĂDESCU, A.: 734
VOEGTLIN, Carl (1879—1960): 837, 850
VÖRLANDER: 478
VOGE, Jean: 279
VOGEL, Hermann (1841—1907): 557
VOGEL: 616
VOGELSANG, Hermann (1836—1874): 495
VOGT, Heinrich (n. 1890): 580
VOGT, Joh. Hermann L. (1858—1932): 499, 504
VOGT, W.: 642

VOIGT, Waldemar (1850—1919): 158, 160, 240
VOINOV, D.: 639, 733, 736
VOLCHOK, L.H.: 483
VOLET: 459
VOLHARD, Franz (1872—1950): 835, 863
VOLLMER, Hermann (n. 1896): 870
VOLMER, Max (n. 1885): 480
VOLTERRA, Vito (1860—1940): 37, 73, 78, 100, 130, 694
VOSS, Hermann (n. 1888): 640
VOTAW, D.F. Jr.: 126
VRĂNCEANU, C. Gheorghe (n. 1900): 88, 134
VRIES, Hugo DE (1848—1935): 708, 725
VULPE, Al.: 753
VULPIAN, DE: 910

WACHS: 704
WADDINGTON, C.H.: 644, 717, 727
WAVE: 306
WAGNER, Ernst L. (1829—88): 886
WAGNER, E.: 616
WAGNER, Wilhelm (1849—1900): 913
WAGNER-JAUREGG, Julius von (1857—1940): 906
WAHL, A.C.: 421
WAINWRIGHT, L.: 112
WAKSMAN, Selman Abraham (n. 1888): 893—984
WALCOTT, Charles D. (1850—1927): 680
WALD, Abraham (1902—1950): 92, 99, 105, 109—111, 125, 126
WALD, H.: 669
WALGREEN: 871
WALKER, A.: 862
WALKER, M. (n. 1926): 581
WALKER, M.B.: 875
WALKER, R.J.: 86
WALKER: 377
WALKHOFF: 335
WALL: 913
WALLACE, Alfred Russel (1823—1913): 703, 725
WALLACE, Henry A.: 942
WALLACE, R.A.: 119
WALLACH, Otto (1847—1931): 430
WALLER, Augustus D. (1856—1922): 829
WALLER, Augustus Volney (1816—70): 667
WALLER: 428
WALLERANT, Frédéric (1858—1936): 471, 473, 480
WALLERSTEIN: 902
WALLHERT: 904
WALTER, W. Grey (n. 1911): 119, 127, 831, 875
WALTON, Ernst Th. S. (n. 1903): 340, 344, 356
WALTON, J.R.: 422
WANG: 679
WARBURG, Otto Heinrich (n. 1883): 623, 624, 627, 762—763, 765—767, 770, 773, 778
WARDLAW, C.W.: 783—784, 788
WARING, Edward (1734—98): 26
WARINGTON, K.: 778
WARMING, Eugenius (1841—1924): 796
WARNER: 864
WARNER, Bertram E. (n. 1902): 448, 490
WASHINGTON, Henry Stephen (1867—1934): 489, 492, 495, 504
Washington: 527, 529, 795, 941—942
WASSERMAN: 897
WASSERMANN, August von (1866—1925): 648
WASSON, R.G.: 793, 809
WASSON, V.P.: 793
WATERHOUSE, W.C.: 812
WATERS, Ralph M. (n. 1883): 911
WATKINS, D.: 317
WATSON, D.M.S.: 738, 739
WATSON, John Broadus (n. 1878): 671, 702
WATSON, James Dewey (n. 1928): 619, 715, 717, 790
WATSON: 272, 315
WATSON: 911
WATSON-WATT, Sir Robert A. (n. 1892): 279
WATT, James W. (1736—1819): 117—118
WATTS, James W. (n. 1904): 914
WATTS: 694
WAYLAND, E.J.: 750
WEALER, R.A.: 669
WEARN, Joseph T. (n. 1893): 652
WEAVER, J.E.: 797
WEAVER, Warren (n. 1894): 109, 123
WEBER, Alfred L. (n. 1880): 480
WEBER, Hans H.J.W. (n. 1896): 654
WEBER, Heinrich (1804—91): 33, 38
WEBER, Wilhelm (1804—91): 239—240, 244
WEBER: 873
WECHSLER: 876
WECKESSER: 913
WEDDELL, Hugh (1819—77): 950—951
WEDDELL: 831
WEDENSKY: 272
WEED-PFEIFFER: 686
WEGEL, Raymond L. (n. 1888): 832
WEGENER, Alfred L. (1880—1930): 509, 530, 701, 744, 800
WEHMEIER, E.: 644

WEHNELT, Arthur (1871—1944): 266, 281
WEHRLÉ, Ph.: 92, 101
WEIBEL, G.: 319
WEIERSTRASS, Karl (1815—97): 45, 51, 55—56, 61, 65, 72
WEIGL: 881
WEIL, André: 26, 36, 38, 40, 43, 64, 87
WEIL, Edmund (1880—1922): 881
WEIL, R.: 481, 499
WEIL: 718
WEILL, A.R.: 482
WEILL-HALLÉ, B.: 890
WEINSTEIN: 711
WEISMANN, August (1834—1914): 638, 687, 725, 813
WEISS, M.T.: 306
WEISS, Paul (n. 1898): 643
WEISS, Pierre (1865—1940): 199, 242—244
WEISS: 886
WEISSBACH, A.: 776
WEISSENBERG, Karl (n. 1893): 194
WEISSKOPF, Victor F. (n. 1908): 293, 361—363
WEIZSÄCKER, Carl F. von (n. 1912): 348, 352, 541, 559, 580, 582, 594
WELCH, P.S.: 697
WELKE: 64
WELL: 859
WELLER, Thomas H. (n. 1915): 874
WELLS, A.F.: 481
WELLS, Herbert G. (1866—1946): 161
WELLS, Horace (1815—48): 911
WELLS: 720
WELSBACH — v. AUER.
WELSH: 894
WELTMANN: 833
WENNER, Frank (n. 1873): 465
WENRICH: 680
WENT, Frits W. (n. 1903): 755
WERKMAN Chester H. (n. 1893): 771, 776
WERNER, Alfred (1866—1919): 416—417
WEST, G.S.: 808
WEST: 866
WESTERGÄRD: 680
WESTGREN, Arne (n. 1889): 195
WESTINGHOUSE, George (1846—1914): 323
WESTON, W.H.: 813
WESTPHAL, Otto (n. 1913): 846
WETTSTEIN, F. von: 716
WETTSTEIN, R.R. von: 804
WETTSTEIN: 853, 856
WEVER, E.C.: 669
WEYER: 685
WEYL, Herbert: 400
WEYL, Hermann (1885—1955): 38, 42, 51, 62, 73, 85, 89
WHATLEY, F.R.: 774—775
WHEELER, D.J.: 24
WHEELER, G.V.: 353, 359, 362
WHEELER: 684, 705
WHELAN: 200
WHELDALE, Miss M.: 764
WHIPPLE, A.O.: 865
WHIPPLE, George H. (n. 1878): 649, 847, 864
WHIPPLE: 523
WHITAKER: 825
WHITE, Edwin Clay (n. 1888): 835
WHITE, James Clarke (n. 1895): 668
WHITE, P.R.: 755, 758, 778
WHITE: 649
WHITE: 712
WHITEHEAD, Alfred N. (1861—1947): 178
WHITEHEAD, John Henry C. (n. 1904): 37
WHITEHURST, R.: 320
WHITFORD, Albert E. (n. 1905): 524, 552, 554, 556, 568
WHITING: 690
WHITNEY, Ch.: 581
WHITNEY, H.: 35—36
WHITTAKER, R.H.: 797
WICHTERMANN: 680
WICKMAN, Otto I. (1872—1914): 874
WIDAL, Fernand (1862—1929): 663, 835, 858, 862—863, 879, 890
WIDEROË, Rolf R. (n. 1902): 357
WIECHERT, Emil (1861—1928): 316, 328
WIEDEMANN, Gustav H. (1826—99): 197, 263, 299
WIELAND, G.R.: 786
WIELAND, Heinrich (1877—1957): 433, 617, 652, 762
WIEN, Wilhelm (1864—1928): 142, 256
WIENER, Alexander S. (n. 1907): 648, 858, 902
WIENER, Norbert (n. 1894): 74, 92, 100, 108, 111—112, 117—118, 120, 671
WIENER: 230
Wiener Kreis: 149
WIESNIEWSKY: 698
WIGGANS, R.G.: 779
WIGGERS, Carl John (n. 1883): 830
WIGGLESWORTH, V.B.: 684
WIGNER, Eugene P. (n. 1902): 361, 382, 386, 944
WIGTON: 831
WIHTZBY: 848
WIKLUND, T.: 860
WILCZYNSKI, Ernest J. (1876—1932): 88
WILD, J.P.: 602, 604
WILDT, Rupert (n. 1905): 541, 576

WILKES: 113
WILKINS, Hugh Frederick (n. 1916): 619
WILKINS: 835—836, 856, 900
WILLCOCK: 617
WILLEBRAND: 859
WILLIAMS, C.D.: 865
WILLIAMS, E.C.: 125
WILLIAMS, F.O.: 113—115
WILLIAMS, J.L.: 806, 815
WILLIAMS, R.C.: 780
WILLIAMS, Robert R. (n. 1886): 846
WILLIAMS: 294, 319
WILLIAMS: 371
WILLIAMS: 831
WILLIS, B.: 693
WILLIS, H.S.: 871
WILLIS, J.C.: 100, 701, 800
WILLM: 696
WILLSTÄTTER, Richard (1872—1942): 439, 617, 621, 768—769, 772
WILM: 202
WILSEY: 824
WILSON, A.H.: 194, 197, 301
WILSON, Charles T.R. (1869—1959): 256, 334, 367
WILSON, Edmund Beecher (1856—1939): 642, 691, 788
WILSON, Frank Norman: 830, 860
WILSON, Graham S. (n. 1895): 880
WILSON, Harold Albert (n. 1874): 256, 260
WILSON, J.L.: 881
WILSON, M.G.: 879
WILSON, P.W.: 781
WILSON, William (n. 1875): 339, 399
WILSON, președintele Woodrow (1856—1924): 941
WILSON: 579
WILSON: 911
Wilson, Observatorul de la Mount: 518, 521, 537, 541, 545, 555, 567, 569, 941
WINCHELL, Alexander N. (n. 1874): 490
WINDAUS, Adolf (1876—1959): 617, 652, 845, 846, 901
WINGSTRAND, K.G.: 678
WINIWATER, DE: 709
WINKELMAN: 824
WINKLER, Helmut G.F. (n. 1915): 499, 506
WINOGRADSKY, Serghei (1856—1953): 892
WINTERNITZ: 910
WINTERSTEIN: 414
WINTERSTEINER, Alfred (1899—1960): 854
WINTNER, Aurel Friedrich (1903—58): 532
WINTREBERT: 725
WINTZ, Hermann L. (1887—1947): 826, 909
Wisconsin, Universitatea: 432
WISING, P.J.: 882
WITSCHI: 663
WITTENBERGER, C.: 734
WITTMANN: 895
WODEHOUSE, R.P.: 786
WOHLGEMUTH, Julius (1874—1948): 866
WOLD, H.: 92
WOLF, A.: 882
WOLF, B.: 699
WOLF, E.: 663
WOLF, Harold George (n. 1898): 652
WOLF, Max (1863—1932): 566
WOLF, Rudolf (1816—93): 100, 538
WOLF, Stewart George (n. 1914): 652
WOLFF, Gaspar Friedrich (1733—1794): 641
WOLFF, Étienne (n. 1904): 630, 643, 645, 704
WOLFF: 856
WOLFF-EISNER, Alfred (1877—1948): 843
WOLFKE, Mieczyslaw W. (n. 1883): 233
WOLFOWITZ: 92
WOLLAN, Ernst O. (n. 1902): 249
WOLLASTON, William H. (1766—1828): 211
WOLLMAN, Élie, L. (1883—1943): 715
WONG WEN-HAO: 971
WOOD, A.: 332
WOOD, H.E.: 742
WOOD, H.G.: 771, 776
WOOD, Robert Williams (n. 1868): 217
WOODRUFF: 682, 687
WOODRUFF: 839
WOODS, D.D.: 435, 633, 771
Wood Hole: 945
WOODWARD, R.B.: 428, 435, 856
WOODWORTH, C.M.: 708
WOOSTER: 194, 339
WORINGER, Pierre (n. 1890): 844
WRIGHT, Sir Almroth Edward (1861—1947): 890
WRIGHT, E.H.: 25
WRIGHT, Fred Eugene (n. 1877): 483
WRIGHT, James Homer (1871—1928): 649
WRIGHT, M.: 25
WRIGHT, S.: 714, 719, 726, 945
WRIGHT, Thomas (1711—56): 593, 594
WRIGHT, W.D. (n. 1906): 669
WRINCH, Miss: 619
WROBLEWSKI: 835
Wroclaw: 425
WU, C.S.: 388
Würzburg: 328
WULF: 824
WULFF, Georg V. (1862—1925): 480
WULLSTEIN: 915
WURMSER, René (n. 1890): 771
WURTZ, Adolph (1817—84): 394
WYART, Jean (n. 1902): 494, 499, 506
WYEIS: 914
WYCKOFF, Ralph N.C. (n. 1897): 476, 486

XENOPOL, A.D.: 734

YABUTA, Teijiro: 761
YAGLOM: 104
YALE, Universitatea: 440, 877
YAMABE: 38
YAMANOUCHI, S.: 814
YAMAGIWA, Katsusaburo (1863—1930): 631
YANG, Chen Ning (n. 1922): 388
YANNET: 863
YATSU: 691
Yellowstone, Parc Național: 700
Yémen: 952
YEN-CHI-TAH: 43
YÉOU-TA, T.: 319
Yerkes, Observatorul: 540, 556, 566
YERSIN, Alexandre: 890, 966
YNGVE: 124
YODER, H.S.: 494
YOSHIMURA, J.: 484
YOTSUYANAGI: 716
YOUNG, Frank George (n. 1908): 850, 851
YOUNG, L.C.: 82
YOUNG, Reynold K.: 567
YOUNG, Thomas (1773—1829): 148, 285, 669
YOUNG, William H. (n. 1863): 48
YOUNG, W.J.: 621, 623
YOW: 682
YUKAWA, Hideki (n. 1907): 152, 371—372, 387, 973
YULE, George Udny (1871—1951): 92, 100
Yuma (Colorado): 752
YVON, J.: 292, 313—314

ZACHARIAS, J.: 296
ZACHARIASEN, William H. (n. 1906): 488
ZAMECNIK, Paul C.: 615
ZANSTRA, Herman (n. 1894): 578
ZAREK, A.: 278
ZAREMBA, Stanislaus (1863—?): 73
ZARISKI, Oscar, (n. 1899): 41, 87
ZAVADOVSCKI: 660
ZAVOISKY, E.: 250, 295, 413
ZAZZO, R.: 876
ZBYSZEWSKI, C.: 739
ZEBENKEVICI: 123
ZECHMEISTER, László (n. 1889): 414, 439
ZEEMAN, Pieter (1865—1943): 140, 157, 165, 173, 220, 255
ZEIDLER: 891
ZEIGER, H.J.: 296
ZEIPEL, E. Hugo von (n. 1873): 579
ZELENY, John (n. 1872): 260
ZÉLINSKI, Nicolai D. (1861—1953): 936
ZENNECK, Jonathan (1871—1959): 271
ZEREVITINOV: 427
ZERMELO, Ernst (1871—1953): 27
ZERNIKE, Frits (n. 1888): 215, 327, 672, 829
ZEUNER, Frederick E.: 744
ZHA, J.: 822
ZILLIKEN: 836
ZIMMERMANN, L.: 488
ZIMMERMANN, Wilhelm (n. 1910): 836
ZIMMERMANN, W.: 783
ZINDER, N.D.: 715
ZINN, W.H.: 347
ZINNER, Ernst (n. 1886): 564
ZIPF, G.K.: 122
ZIPPIN, Leo (n. 1905): 38
ZÖLLNER, Friedrich (1834—82): 549, 556
ZOLLNER: 915
ZOLYNEAK, C.: 734
ZOPF, Friedrich W.: 812
ZONDEK, Bernhard (n. 1891): 661, 852, 854—855
ZSIGMONDY, Richard (1865—1929): 408, 672
ZOTTA, Gh.: 683
ZOTTERMAN, Y.: 667
ZUELZER, W.W.: 881
ZUGRĂVESCU, I.: 446
ZUPANČIC, Richard (n. 1878): 363
Zürich: 160, 439, 797, 928
ZWICKY, Fritz (n. 1898): 482, 565
ZWORÎKIN, Vladimir K. (n. 1888): 282, 524
ZYGMUND, Antoni S. (n. 1900): 131

Indice de noţiuni

Absorbţie: — a radiaţiilor: 142—143; — în spaţiul interstelar: 567—568
Accelerator de particule: 17, 258, 286, 344, 347, 356—358, 363—366, 377—379, 396, 416
Aclimatizare: 792, 935
Acetilcolină: 667, 844
Acizi: — biliari: 414; — graşi: 408, 415; — nucleici: 612, 619, 635—636
Acid-bază (teoria —): 291
Acustica: 139, 270
A.C.T.H.: 836, 852, 855—856, 899, 900
Acţiune: — la distanţă: 185; (legea — masice): 289
Activitate: 230, 290; (coeficient de —): 232; — solară: 272—273, 538—539, 582; — optică: 430—431
Adaptare, adaptabilitate: 108, 117—121, 726
ADN: 116, 119, 617, 632, 635—636, 691, 718, 761, 790, 841
ADP: 765, 775
Adrenalină: 667, 850
Adsorbţie în solide: 409
Aerohidrodinamică: 935
Aeronomie: 461
Afinitate: 401
Agitaţie termică: 286, 292—293, 300—301, 314—315
Agricultură: 102, 126, 437, 760, 897, 935—936
Aleatoriu: (evoluţie —): 22, 93, 100; (fenomen, funcţie —): 82, 95—99, 111; (variabilă —): 187
Alembert (paradoxul lui d'—): 188; (teoria lui —): 56
Algebră: 22, 31—32, 37, 39, 44, 103; — coomologică: 22, 33, 36—37 ,40, 43; — exterioară:—32; omologică: 33—35, 40—41; — liniară: 32—34; — locală: 41; — modernă: 32, 69, 87;—necomutativă: 33;—normată: 38;—tensorială: 32; — a lui Boole: 28, 114, 116; — a lui Lie: 34, 42—44; — a lui von Neumann: 39
Algebroidă: 63, 75
Algol (limbaj —): 114
Algol (stea dublă): 557
Algologie: 806—809, 814—816
Alimentaţie: 868
Alergie: 843—844
Aliaje: 195, 201—202, 479
Alternanţa generaţiilor: 738
Altitudine: 463
Aluminiu: 202, 423
Amoniac (fixarea —): 781
Aminoacizi: 432—433, 440, 618, 626, 628, 651, 866
AMP: 765
Ampère (curenţii moleculari ai lui —): 239
Amplificator, amplificare: 267—268, 276—277, 296—297, 304—306; — parametric: 306, 317, 325—326; — de strălucire: 282—283, 826
Anabolism: 627—628
Analgezice: 904
Analiză (chimică): 226, 286, 480—481, 514; — prin activare: 416; — conformaţională: 431; — prin diluţie izotopică: 416; — frontală: 414;—imediată: 489;—termică: 489
Analiză (matematică):—dimensională: 187; —armonică: 39, 82;—funcţională: 31—33, 37, 77—79, 130—131;—generală: 22, 28, 80—82; — infinitezimală directă: 22; — matematică: 130; — secvenţială: 110

Analizor diferențial: 112
Analiticitate: 22, 45, 52, 55
Anafilaxie: 843
Anatomie: 960; — comparată a vertebratelor: 735—736, 739—740
Androgene: 854
Andromeda (nebuloasa —): 569—570, 605
Anestezie: 911
Angiosperme: 804—806
„Animale electronice“: 118—119
Anihilare negaton-pozitron: 151, 225, 384—385
Antibiotice: 16, 435—436, 793, 892—894, 897
Anticoagulanți: 902, 904
Anticorpi: 839, 858
Antiferomagnetism: 199, 248
Antihistaminice: 844, 904
Antineotron: 379
Antipaludice: 435, 896
Antiparticule: 377—379
Antiproton: 377—379
Antitiroidiene: 899
Apa: 618, 756; (economia —): 779—780
Aparat respirator: 868—870
Aproximație(i): — lui Appleton-Hartree (sau a lui Hartree): 308, 315; — lui Born-Oppenheimer: 308, 313, 349; — succesive: 66
Arbore genealogic: 677
Arcuri de meridian (metoda —): 447—448
Arheologie preistorică: 743, 749—752
Arheomagnetism: 461
Arhimede (batiscaful): 696
Aripă portantă: 187
Ariilor (metoda —): 449
ARN: 116, 119, 617, 632, 635—636, 790
Arrhenius (teoria lui —): 289, 405—406
Arsenicale (medicamente —): 434, 895
Arta rupestră: 750, 752—753
Ascomicete: 812
Asimptotică: (comportare —): 100; (dezvoltare —): 66; (linie —): 88; (soluție —): 67
Asociații științifice internaționale: 975—978
Aspirină: 435
Astatiniu: 421
Astigmatism: 211
Astrolab impersonal: 528
Astrologie: 959
Astronautică: 520, 584—588
Astronomie: 14, 102, 205, 443, 518—568, 935, 958—959, 973; — fundamentală: 526—528; — radar: 278—279; 603
Astrofizică: 12, 102, 234, 310, 367, 518, 547—548; — teoretică: 574—583
Ateroscleroză coronariană: 860—862
Atlantrop: 748, 750
Atmosferă (e); — ionică: 235; — planetare: 541; — stelare: 266, 575, 577—578, 582—583; — terestră: 315, 461, 590
Atomul: — lui Bohr: 145—146, 265, 329, 337, 398, 576; — lui Rutherford: 144, 221, 397—398; — lui J.J. Thomson: 220, 261, 265, 397—398
Atomică (teoria —): 140—141, 143—144, 150, 160
ATP: 614, 626—628, 765, 775
Audiometrie: 832
Audiție: 112, 121, 668—669, 915
Aureomicină: 894
Auroră polară: 468, 538
Auscultație: 821, 868
Australopiteci: 748, 749—750
Autofecundare: 813
Automatizare: 108, 118
Automatism: 118; — cardiac: 653
Avogadro (numărul lui —): 141, 230—232, 257
Auxină: 757—758
Axiomatică, axiomatizare: 21—22, 93, 105, 106—107, 114, 128, 131, 189, 222
Axiomă: (vezi Gödel, Hausdorff, Noll, Zermelo)

Bacili: — lui Bordet-Gengou: 891; — lui Koch: 630
Bacterii: 632—636, 638, 672, 684, 697, 715, 763, 770, 781, 785, 790, 807, 814
Bacteriofagi: 611, 634—635, 716
Bachelită: 437
Baire (clasele lui —): 46—47; (funcțiile lui —): 46—47
Balmer (formula lui —): 219—220, 221; (seria lui —): 563
Barieră: — a cîmpului spațial: 303; — de potențial: 246, 264, 299, 302, 359—360
Barion (i): 386
Basedow (boala lui —): 853, 899
Bazidiomicete: 811—812

Batiscaf: 696
Bayes (teorema, formulele lui —): 105—106
BCG: 890
Beer-Lambert (legea lui —): 411
Benzi (teoria —): 196—198, 300—302, 307—308, 325; — de conducție: 301—302, 309; — interzise: 309; — de valență: 301—302
Bernoulli (numerele lui —): 36
Betatron: 364
Betti (numerele lui —): 33, 35, 43, 90
Biochimie: 12, 394, 438—441, 615—629, 661, 723, 790, 832—835
Biocibernetică: 119—120, 671
Biogeografie: 511, 797
Biologie: 15, 16, 108, 113, 119, 284, 326, 397, 514, 611—821, 936, 961
Biometrie: 693—694
Biofizică: 12
Biopsii: 828—829
Biosistematică: 792, 794
Bit: 109, 112
Blackman (reacția lui —): 777
Blajko (efectul lui —): 561
Blocaj metabolic: 841—842
Bloch (constanta lui —): 60
Boală(i): — de carență: 438; — ereditare ale metabolismului: 841—842; — infecțioase: 878—883; — moleculare: 620; vezi Addison, Basedow, Cushing, Parkinson.
Bohr (legea frecvențelor a lui —): 144—146; (teoria lui —): 144—146, 221—222, 242, 398—399; vezi Atom, Tranziții.
Bolometru: 218, 524
Boltzmann (constanta lui —): 111, 241, 271; (ecuația lui —): 241, 253, 296, 298, 300, 313—314; (operatorul de ciocniri al lui —): 313
Bombă: — atomică: 347, 362, 416, 721, 943—944; — H (termonucleară): 310
Bordet-Wassermann (reacția —): 648, 664
Bor: 424—425; (hidruri de —): 425
Borel (funcțiile lui —): 40; (măsura lui—): 47—48; (teorema lui —): 56; (valoarea excepțională a lui —): 56—57
Born-Oppenheimer (aproximația lui —): 308, 313, 349
Boson (i) : 149, 384, 387
Botanică: 443, 760—817, 950; — aplicată: 792—793
Bouguer (corecția lui —): 461; (teoria lui —): 464
Bourbakism: 131, 133
B.P.A.S.: 896
Bragg (unghiul lui —): 193; vezi Relația lui —
Briofite: 802
Brønsted (teoria lui —-Lowry): 291, 406—407
Bronz: 202

Calcul: — analogic: 284; — aritmetic: 114; — automat: 97, 112; — diferențial absolut: 89; — diferențial exterior: 72; — matricial: 270; — operațional: 76, 269, 327; — simbolic: 82; — tensorial: 189, 192, 270; — variațional: 69, 72, 91; — variațional global (Morse): 43, 78
Calculator: — aritmetic: 269; — electronic: 269, 283, 303, 326, 411, 936
Calea Laptelui: 273, 369, 566, 569, 592—593 595—596, 599
Caloric: 228
Calvin (ciclul lui —): 776—777
Cambiu: 757
Cameră: — cu bule: 374; — Wilson: 150, 168, 256, 334, 338, 340—342, 367—368, 371, 374—378, 381; — de ionizare: 341
Cameră electronică: 524, 557
Cancer, cancerologie: 666, 883— 885
Cancerigene (substanțe —): 883—885
Cancerizare: 758
Capacitate: 74
Caracter(e): — parțial ionic: 419; — sexuale secundare: 688, 854
Carbon: 496; — 14: 397, 416, 508, 776 — tetraedric: 430
Carboxilare: 772, 776
Carcinotron: 278, 319
Cardiologie: 859—861
Cariologie: 788
Carnot(principiul lui —): 228—230
Carotene: 414, 439—440
Carotenoizi: 616, 772
Cartelă perforată: 16
Cartof: 792
Cataloage: — fundamentale: 527 — de mișcări proprii: 527 — de poziții: 527
Cateterisme: 828

Cauciuc sintetic: 437
Cauchy (metoda lui —): 66; (problema lui —): 72, 74—76; (teorema lui —): 54, 70
Cauchy-Kovalewskaia (teorema lui —): 71
Căldură: — de reacţie: 401; — specifică electronică: 308; — specifică a gazelor: 236; — specifică a solidelor: 144, 196—197, 219, 221, 236—237, 262—263, 298; (cantitatea de —): 228—229; (propagarea —): 139
Ceas(uri): — atomice: 180, 528—529, 531; — încetinirea lor: 167, 180
Cebîşev (seria —): 59
Celulă (matematică): 22, 63
Celulă(e) (biologie), citologie: 119, 613—632; — conjunctive: 646; — sanguine: 647; — sexuale: 638—639
Celulă (fizică): — fotoelectrică: 206, 211—212, 218, 271, 282, 524, 536; — fotorezistenţă: 524
Celuloid: 437
Celuloză: 437
Centri coordinatori: 417
Centrozom: 632
Centurile lui Van Allen: 311, 370—371, 590
Cefeide: 561—562
Cercetare: — medicală: 916; — operaţională: 108, 124—127; — ştiinţifică: 923—935, 938—946, 961—962, 966, 968, 969—971; — spaţială: 977
Cerenkov (contorul lui —): 374; (efectul lui —): 316, 320, 582
Ceruri: 432
Chancelade (omul din —): 747
Chapman-Kolmogorov (ecuaţia lui —): 99
Chemoterapie: 716, 894—898; — psihiatrică: 904—906
Chiasmata: 813
Child-Langmuir (legea lui —): 260
Chimie: 14—15, 16, 139—141, 252, 288, 291, 326, 394—442, 940, 945; — analitică: 402, 409—416; — anorganică: 394, 400, 416—426; — aromatică: 426; — cuantică: 149; — fizică: 12, 394, 401—409, 442; — matematică: 12; — organică: 394, 416, 426—436; — a suprafeţelor: 408—409
Chirurgie: 910—916; — intracardiacă: 912; — oftalmologică: 915; — ortopedică: 911; — toracică: 912; — a surdităţii: 915
Cibernetică: 22, 108—128, 875, 936
Ciclu: 100; — algebric: 41; — al azotului: 120; — al carbonului: 120; — termodinamic: 419. Vezi Calvin, Horecker, Krebs, Lévy-Cramer, Picard, Poincaré.
Ciclohexan: 431
Ciclotron: 168, 286, 356, 363, 396
Citochimie: 674
Citocromi: 763—764
Citogenetică: 788
Citologie: 14, 613—632, 789—790, 812, 829; vezi Celulă
Citoplasmă: 614; (permeabilitatea —): 778—779
Citoplaste: 789—790
Clistron: 258, 284, 317
Clistron-reflex: 276
Cîmp: — cristalin: 400, 485; — electromagnetic cuantificat: 183, 381; — local: 247—248; — magnetic terestru mediu: 459; — magnetic terestru suplimentar: 459, 460; — molecular: 199, 242—244, 247. Vezi şi Coulomb, Hartree, Maxwell, Weiss.
Cîmpuri: (teoria cuantică a —): 16, 152—153, 225, 327, 382, 385—392
Cloramfenicol: 894
Cloroficofite: 807
Clorofilă: 414, 769, 772
Cloroplaste: 768, 773—774, 789
Cromatografie: 413—415, 616, 674, 769, 833; — de absorbţie: 413—414; — prin eluţie fracţionată: 414; — în fază de vapori: 415; — de repartiţie: 414; — de repartiţie pe hîrtie: 415
Cromoficofite: 808
Cromoproteine: 616—617
Cromozomi: 612, 632, 709—711; — umani: 719—720, 842—843
Cinchona: 784
Cinematografie: 673
Cinematică: 155—156, 167, 170; — relativistă: 164—165
Cineradiografie: 826
Cinetică (chimică): 149, 403—404; (teoria — a gazelor): 185, 230, 232, 241, 260, 262, 325
Ciocniri (inele de — ale protonilor): 365; (ipoteza —): 403—404; (matricea de —): 359; (teoria —): 359 (fiz.), 541, 581, (astr.).

Cîştig: 289—290
Clairaut (formula lui —): 464
Clase: — de funcţii: 46—48; — Baire: 46—47; — Chern: 36; — Pontreaghin: 36; — Stiefel-Whitney: 36
Clasificare(i): — a insectelor: 675; — periodică: vezi Mendeleev; — a ştiinţelor: 12—13; — spectrale: 581—582; — vegetală: 801—813; — zoologică: 675—677
Clinic (examen): 821—822
CoA: 623, 765
Coagularea sîngelui: 650—651, 858; (factori de —): 650
Coagulanţi: 902
Cobalt-60: 909
Cobordism: 37
Coelacanthus: 740
Coenzime: 621—624
Coerenţă: 327
Coincidenţe (metoda —): 349, 368
Colagenoze: 885—887
Colective (teoria —): 92
Colibaciloză: 880
Clocvii: 64, 130, 674
Coloizi: 15, 408, 619
Coloranţi: 433; vitali: — 613
Colorimetrie: 204, 206, 211—212, 214, 411; — stelară: 553—554, 556
Comensalism: 684
Complementaritate: 150, 152, 223
Complexe (teoria —): 33, 37; — Werner: 416—417
Comportament: 703
Compresibilitate: 188
Compuşi: — anormali: 417; — covalenţi: 417; — ionici: 417, 419
Comunicaţii (teoriile —): 104, 111—112
Comutaţie (relaţiile de — ale lui Heisenberg): 222—223
Compton (efectul —): 147, 169, 219, 380—381; (lungimea de undă —): 169
Concepte structurale: 417
Condensare Diels-Alder: 428
Conductibilitate: — electrică: 188, 234, 262—263, 264, 291, 298—299, 308, 314; — termică: 197, 234, 262, 299, 309, 314
Conducţia electricităţii (conductori): 197—198, 301, 325
Conexiuni (teoria —): 35
Congrese internaţionale: 21, 123, 130, 674, 956
Conservarea energiei: 144, 151, 228
Constantă(e): — dielectrică: 255, 261—262, 292—294; — fizice: 402; — fundamentale (astronomie): 518; vezi şi Bloch, Boltzmann, Hubble, Planck, Rydberg
Continuum (ipoteza —): 27
Continuitate: 37, 45, 55, 79—81
Contor: — cu scintilaţii: 340, 350. Vezi şi Cerenkov, Geiger-Müller
Contracţie: — a lungimilor: 158, 163—164, 165, 258; — a maselor; 158, 258
Contrast radiologic: 823—825
Controlul fabricaţiei: 99, 106
Convective (fenomene —): 583
Convergenţă: 45, 79; — aproape uniformă: 45; — stochastică: 96; — uniformă: 55—56
Convertizor pentru domeniul infraroşu: 282
Cooperare internaţională: 463—464, 975—978
Coordinaţie: 488
Coordonare (Coordinare(i)): 417; — endocrine: 656—658; — organice: 654—655 (indice de —): 417
Coronograf: 536
Coronium: 547, 577
Corelaţie: 22, 94; (coeficient de —): 97; (funcţie de —): 95
Corespondenţă (principiul de —): 145—146, 222, 381
Corp(uri) (teoria —): 32—33; — p-adice: 32, 44; — de clase (teoria —): 40; — galben: 854; — ale lui Galois: 103; — negru (radiaţia —): 141—143, 232, 235—238, 264, 271, 276, 316—318; (problema celor trei —): 66—68
Cortex suprarenal: 836, 853
Corticoterapie suprarenală: 899—900
Cortizon: 856, 899—900
Cosmochimie: 490—491
Cosmogonie: 581, 591—593
Cosmologie: 160, 178—179, 514, 582, 591—593, 594—598, 600
Covalenţă simplă: 400; — de coordinare: 400
Covarianţă: 170
Coulomb (cîmpul —): 359—360; (forţele —): 309—310, 318, 359, 362; (legea lui —): 174, 182, 235, 337, 339
Courier (satelit); 588
Cuante (teoria —): 14, 141, 217, 221—223, 235—236, 237, 244, 381, 399

Cuantificare: — a energiei: 139, 142—143, 160, 381; — a mișcării: 142—143, 244; — a particulelor: 342
Cuaternar (paleontologia —): 746
Culoare: 205—207, 212; — a minereurilor: 476—477; (indice de —): 553
Cuplaj: — jj: 223; — Russell și Saunders: 223; — spin-orbită: 223
Curbă: — algebrică: 41, 84, 86; — de ramificație: 86
Curent(i): — de acțiune: 462; — de convecție: 509—510; — moleculari ai lui Ampère: 239, 242; — telurici: 460
Cozi de așteptare (teoria —): 100, 126
Creier: 120, 668
Creșterea plantelor: 755, 784—785
Criotron: 310
Cristal: vezi Cristalografie; (metoda — rotitor): 194
Cristale: — complexe: 478—479; — mixte: 479
Cristalochimie: 486
Cristalografie: 15, 193—196, 474—489; — geometrică: 474—479; — fizică: 479—486
Cro-Magnon (omul de —): 747
Crossing-over: 711—712
Cultură: — a țesuturilor animale: 613, 629—630, 839; — a țesuturilor vegetale: 755, 758, 769; — a virusurilor: 839
Cultura de prund: 749
Curarizare: 905
Curie (legea lui —): 240—242; (principiul lui —): 17; (punctul lui —): 240, 242—243, 248
Cushing (boala lui —): 856, 867
Cutia neagră: 118

Darwinism: 724—725
DDT: 437, 891, 897
Debye (lungime —): 288—291, 314; (norul —): 318; (temperatura —): 300; (teoria lui —): 235
Debye-Hückel (teoria lui —): 235, 290, 405
Decizie (teoria —): 99, 105—108, 109, 124—126
Deducere automatizată: 108
Defect: — cristalin: 474; — de masă: 167, 169
Dehidrogenaze: 764
Dehidrogenare: 764
Demagnetizare adiabatică: 233, 243
Dematerializare: 151, 167
Demografie: 93, 100
Derivare: 79, 80
Deriva continentelor: 14, 509, 530, 800
Derivată: — aproximativă: 49; — areolară: 53—54; — generalizată: 82; — sferică: 54, 58; — stochastică: 96
Descărcări în gaze: 140, 251—260, 265, 286—288
Detector: 267—268, 270; — cu cristal: 271; — cu emulsie fotografică: 372—374; — de fotoni: 283; — cu galenă: 268, 303; — cu joncțiuni: 350
Determinism: 17, 93, 160
Deuteriu: 323, 358, 396
Deuteron, deuton: 168—169, 343, 358, 360
Deviația radiațiilor luminoase: 178, 532
Dezintegrare radioactivă: 149, 334—335, 395
Dezvoltarea științei: 9—10, 129
Diagnostic: 839, 888—889; — virologic: 840
Diagramă (Feynman): 383, 391; — lui Hertzsprung-Russell: 102, 519—520, 544—545, 579—580
Diamagnetism: 239—241, 246, 252, 309
Diamant: 195; — artificial: 234
Dicroism circular: 411
Dielectrici: 255, 261, 274, 291—294, 297, 310
Diferențieri somatice: 645—646
Diferențială: 81—82
Difracție: 148, 204, 209, 213, 271, 285; — a electronilor: 148—150, 285, 412, 469; — a neutronilor: 148, 293; — a neutronilor termici: 249; — a radiațiilor X: 148, 150, 194—196, 218, 285, 288, 300, 412, 419, 466—470, 474—478, 619; (diagrama de —): 194
Difuzie (a lichidelor): 93, 230—231, 260; (coeficient de —): 231—232, 260, 303, 314
Digestie: 438, 652
Dilatare: 197; — a duratelor: 163—164
Dimensiuni: (număr de —): 80—81.
Dinamică: 185; — analitică: 68—69; — newtoniană: 155, 159, 162, 166, 171; — relativistă: 167, 221; — a sistemelor stelare: 578—579

Dioda: — termoionică sau a lui Fleming: 260, 266—267, 303; — lui Hull: 278; — cu joncțiuni: 305—306
Diofantice (probleme —, ecuații —): 26, 40
Difterie: 891
Dipolii lui Debye: 292—293
Dirac (funcția lui —): 82; (teoria electronului a lui —): 148—149, 167, 222, 225—226, 251, 368, 377, 379, 384, 391, 399; vezi Statistica Fermi-Dirac.
Dirichlet (principiul lui —): 35; (problema lui —): 57, 72—74; (seria lui —): 50, 59, 62
Discontinuitatea: — lui Gutenberg: 458, 495; — lui Mohorovičić: — 458, 495; — lui Repetti: 495; — electricității: 142—143; — luminii: 142—143; — materiei: 139—144
Dislocație: 200—201, 474
Disociere electrolitică: 289—291, 401, 405
Dispersie (a luminii): 145, 255, 260
Distribuții (teoria —): 39, 76, 82—83, 270
Diuretice: 897—898
Documentare: 935; — automată: 122—124
Dollo (legea lui —): 737
Domeniul lui Weiss: 242, 245, 247—248
Dominanță: 713—714
Doppler (efectul —): 157, 168, 179, 181, 278, 316, 320, 596
Dozări chimice: 834
Dozimetria radiațiilor X: 826, 909
DPN: 618, 623, 767, 772
DPT: 623
Drosofila: 709—711, 717—719, 721, 726—727
Drude (teoria lui —): 260, 262—263, 298—299, 325
Dualitate: 33, 38—39
Dualism undă-corpuscul: 147—149, 150, 154, 223, 225—226
Dublet de electroni: 399, 417—418, 492
Dulong și Petit (legea lui —): 197, 236—237, 263, 298
Duplicare: 25; — a cubului: 39, 43
Durată (unitatea de —): 227

Echo (satelit): 280, 586, 588
Ecologie: 682, 692—701, 796—799
Economie, econometrie: 92—93, 100, 106, 120, 124—127
Ecruisaj (deformare permanentă): 189
Ecuații: — diferențiale: 22, 38, 42, 63, 65—69, 77, 81, 112, 187; — cu derivate parțiale: 38, 42, 65, 70—77, 82—83, 132, 139; — funcționale: 76; — integrale: 38, 73, 78, 83; (teoria —): 22, 69. Vezi Boltzmann, Champan-Kolmogorov, Fourier, Fredholm, Laplace, Liouville, Maxwell, Poisson, Schrödinger, Smoluchowski.
Echilibru: chimic: 401—402, 409; — convectiv: 575; — ionic complex: 410; — radiativ: 535, 575—577; — radiație-materie: 226, 237—238, 292; — termodinamic local: 583
Echipartiția energiei (principiul —): 235—236
Echipolență: 171
Echivalență (principiul de —): 169, 172—176, 182; — masă-energie: 167
Efect(e): — giromagnetice: 245, 295; — inductive: 429; — ionic comun: 410; — mezomere: 429; — de ordinul I: 157, 168; — de ordinul II: 157, 168; — tampon: 420. Vezi și Blajko, Cerenkov, Compton, Doppler, Hubble, Joule, Joule-Thomson, Lamb, Mössbauer, Paschen, Peltier, Raman, Stark, Stark-Lo Surdo, Zeeman.
Einstein (funcția lui —): 237; (formula lui —): 261, 303, 338, 358—359, 579; (legea lui —): 176—177; (tensorul lui —): 176; (teoria lui —): 161—163, 176—178, 180, 182, 533, 598
Elasticitate: 139, 185, 188, 192
Electrocardiografie: 653, 830
Electrochimie: 230
Electrodinamică: — clasică: 222; — cuantică: 167, 327, 383, 389—390
Electroencefalografie: 113, 668, 830—831, 875
Electroliză: 139, 256—257, 288
Electroliți: 289—291, 303; — tari: 235, 289—291, 292
Electromagnetism: 157, 158, 163, 166, 182, 183, 203, 254, 330. Vezi Maxwell
Electromiografie: 831
Electronică: 14, 16, 108, 193, 205, 217, 234, 254—256, 298, 313, 325, 328, 390, 392, 397—398, 411; — cuantică: 330
Electron: 140, 149—153, 158, 198, 220, 226, 251; pozitiv (pozitron): 342, 368, 377

Electroforeză: 408, 833
Electroretinografie: 210
Electrostricţiune: 292
Elemente de tranziţie: 245
Elipsoid internaţional de referinţă: 450
Eliptic (ecuaţii de tip —): 75
Emanaţie: 332
Embriologie: 641—642, 690—691, 722, 736, — chimică: 644; — experimentală: 642—644; 690—692; — a nevertebratelor: 690—691; — morfologică: 641, 642; — vegetală: 787
Emetină: 897
Emisie: — a radiaţiei: 140—144; — de cîmp: 299; — secundară: 264; — spontană: 238, 297, 321; — stimulată: 238, 296—297, 321—322
E.M.P. (schema —): 765
Encefalite: 873—874
Endocrinologie: 611, 656—663, 849—857; — a nevertebratelor: 685—686
Endoscopii: 827
Energetică: 110, 140, 141, 149—150, 184, 189, 443
Energie: 14, 209; — de activare: 403—404; — electrică: 322—325, 326; — nucleară: 160, 166—167, 169, 323—324, 346—348, 423, 936; — radiantă: 237—238; — de schimb: 246—247, 249; — solară: 199, 324; — stelară: 579—580; — termonucleară: 234; — totală: 229; — vitală: 627, 764—765
E.N.I.A.C. (maşină electronică): 113
Entropie: 104, 110—112, 139, 142, 229, 243, 308
Enzime, enzimologie: 414, 438, 441
Epilepsie: 120, 873
Ereditate: 619, 790, 813, 944; — legată de cromozomul sexual: 709—710; — necromozomială: 716; (teoria cromozomică a —): 715—716, 788
Ergastoplasmă: 790
Ergodism: 67, 101
Eros (asteroid): 526
Erupţie solară: 537, 581, 604
Estimaţie (teoria —): 97—98, 104—106
Estrogeni: 854
Eşantion aleatoriu: 97—98
Eter: 157, 159, 203; (antrenarea —): 157, 165
Etnobotanică: 792—794
Etologie: 682, 702—707
Evoluţie: 612, 722—727, 740—742; — aleatoare: 22, 93, 100; — a regnului vegetal: 712
Excluziune (principiul de — al lui Pauli): 149, 224, 226, 236, 246, 298, 300, 308, 351, 353, 384, 399, 418
Expediţii ştiinţifice: 933
Explorare(i): — botanice: 791—793, 794—795; — funcţionale: 821—822, 834—837; — neurologică: 875—876
Explorer (satelit): 371, 538, 585
Extremale: 68—69

Faber (seria lui —): 59
Factorul Rhesus: 647—648, 858
Fagocitoză: 647
Familii: — cvasinormale de ordin *p*: 58—60; — normale de funcţii: 57—59, 63—64; — radioactive: 335—336, 339
„Farfurie scufundătoare“: 697
Farmacologie: 16, 960
Fascicule (jeturi): — atomice: 251, 296; — moleculare: 244, 295—296, 945
Fascicul(e): — de electroni: 317, 320; — herţian: 278—280, 294; (teoria —): 35—36, 41—42, 90
Fascism: 131, 929
Faună (cavernicolă): 698—699; — interstiţială: 698
Febră galbenă: 891, 949
Fecundare: — animală: 639—640; — încrucişată: 813; — vegetală: 813
Feed back: 117—120
Fenogenetică: 713
Fenomenologie: 149, 183, 239
Ferimagnetism: 199, 249
Ferite: 199, 249, 295, 306, 315, 319
Fermentaţie alcoolică: 765—766
Fermi (gazul —): 351; (marea —): 351—352; (nivelul —): 298, 309; (suprafaţa —): 196
Fermion: 149, 383—384
Feroelectricitate: 198, 292
Feromagnetism: 199, 239—242, 245—250, 292
Feulgen (reacţia lui —): 617, 633, 790
Feynman (diagrama lui —): 383
Fibră nervoasă: 666
Ficat: 835, 864—865

Ficomicete: 812—813
Fier: 202
Filotaxie: 784; — experimentală: 784—785
Filtru: 214
Fineţe (spirit de —): 108, 121, 127
Fisiunea uraniului: 13, 249—251, 362
Fizică: 11, 14, 69, 132, 139—392, 945, 959, 961; — matematică: 12, 54, 83, 184, 327, 936; — nucleară: 16—17, 151—154, 234, 252, 286, 328—392, 497, 936; — cuantică: 152—154, 229, 519 — a solidelor: 15, 192—211, 285, 306, 324, 326
Fizico-chimie: 612
Fiziologie: — celulară: 621—629; — a circulaţiei: 653—654; — a creşterii: 755; — musculară: 653—654; — a nutriţiei: 651; — senzorială: 668—670, — vegetală: 755—780
Fitogeografie: 796, 799—800
Fitohormoni: 437—438, 755—761
Fitosociologie: 796—797, 799
Fitotron: 755
Flip-flop (montaj—) : 113
Floră: 794—795
Floristică: 791, 795
Fluaj: 189, 202
Fluctuaţii: 232
Fluor: 426
F.N.R.S. II (batiscaf): 696
Fokker-Planck (ecuaţia lui —): 314
Fonaţie: 121, 669
Fonon: 197, 247, 300, 308—309, 325
Foraj: 493—494
Forţă(e): — de inerţie: 172—174; — fictive: 172; — nucleare: 386—387; — Van der Waals: 242; (şcoala —): 184; vezi Coulomb, Laplace
Formalism: 147, 149—150, 152, 160, 167, 176, 186
Formă diferenţială, invariantă: 69; — diferenţială exterioară: 186; — a lui Pfaff: 89; — pătratică: 40
Formulă: vezi Balmer, Clairaut, Einstein, Fourier, Landé, Moseley Planck, Wien
Fosfor: 234
Fosforescenţă: 200, 484
Fosforilare: 765, 834; — oxidativă: 767—768, 774—775
Fotoconductibilitate: 303
Fotoelectricitate: 204—205, 209, 214
Fotoelectric(e) (efect —): 140, 143, 150, 199, 218, 264—265, 303, 380, 485, 524, 576; (metode —): 552—553
Fotografie: 204, 206, 208—209, 214, 217—219; — astronomică: 523
Fotoliza apei: 770—771, 773, 775
Fotometru: 549—550, 558; — lui Pickering: 549—550, 558; — lui Zöllner: 549, 556
Fotometrie: 204, 206, 211—212; — a aştrilor nepunctiformi: 555; — stelară: 548—553, 556—557
Fotomultiplicator: 282, 350, 374, 524, 552
Foton: 143, 145, 147, 151, 160, 169, 174, 178, 219—220, 225, 238, 264, 373, 380
Fotoperiodism: 758—759
Fotofosforilări: 775—776
Fotoreducere: 771
Fotosinteză: 496, 612, 768—777
Fotovoltaic (efect —): 303
Fourier (ecuaţia lui —): 94, 99; (formula lui —): 49, 50, 327; (seria lui—): 38, 60, 62; (teoria lui —): 139; transformarea lui—): 38, 83, 95, 218, 269
Fracţii continue: 23—24, 58
Franciu: 421
Fréchet (integrala lui—): 82
Frecvenţă(e): — lui Larmor: 252; (legea — a lui Bohr): 144—146
Fredholm (ecuaţia lui —): 73, 77, 78
Fresnel (biprisma lui —): 148, 157, 165, 285; (franjele lui —): 285; (teoria ondulatorie a luminii a lui —): 139, 143 (vectorul electric al lui —): 568
Fruct (dezvoltarea —): 760
F.S.H.: 836, 852
Funcţie(i): 23—24, 45; — abeliene: 86; — algebrice: 63; — analitice: 23, 45, 52—55, 71—76, 269; — armonice: 63, 72, 73; — automorfe: 61, 63, 65; — aproape analitice: 63; — aproape periodice: 50, 62; — caracteristice: 95—96, 100; — caracteristice intrinseci: 104; — cvasianalitice: 50; — cvasiperiodice: 62; — de concentraţie: 96; — de distribuţie: 95; — eliptice: 61, 75; — întregi: 56—58; — fuchsiene: 61, 65; — generalizate: 76, 82; — kleineene: 61, — măsurabile: 48—49; — multiforme: 55, 62; — de undă: 222—223, 246, 384, 418; — periodice: 24; — subarmonice: 72; — de variabile complexe: 20, 39, 50, 52—55, 63, 65, 130, 187, 270; — de mai multe variabile complexe: 31, 61, 63—64; — de variabile reale: 23, 45—51, 130; — lui Baire: 47; — lui Borel: 47, 50;

—lui Dirac: 82; — lui Einstein: 237; — lui Grundy: 115; — de distribuție a lui Maxwell: 299, lui — Riemann: 59, 62
Funcționale: 22, 50, 74, 76, 78
Fungicidine: 894
Furtună magnetică: 468, 537—538
Fuziune termonucleară: 234, 310—311, 324

Galaxie: 102, 179, 518, 565, 569, 578, 592, 594—597, 601, 604
Galaxii: 102, 312, 314, 518, 569, 592; (decalarea spectrului—): 596—597, 600; (distanța —): 569—570, 572, 596—600; (viteza radială a—): 572, 596—599
Galilei (sistemul lui—): 156, 162; (transformarea lui—): 155—157, 158, 166
Galois (teoria lui—): 33; (corpurile lui—): 103
Ganglioplegice: 905
Gauss (legea lui—): 550
Gaz: 194, 401;—degenerat: 298, 318, 581; — ionizat: 259—260, 265, 272, 286—287, 295;—al lui Fermi: 351; — al lui Lorentz: 313; (proprietățile—): 141—142, 147—148
Geiger-Müller (contor—): 334, 341—342, 350, 374, 673
Gemeni: 721
Gen: 35, 36
Generație animală: 638—641
Gene: 16, 710—718
Generator: — magnetohidrodinamic: 324; — relativist: 320—325
Genetică: 100, 708—721, 779, 794, 813, 841, 945; — evolutivă: 709, 716—719; — fiziologică: 709, 712—716; — a virusurilor: 635—636 — formală: 708, 709—712; — umană: 719—721; — a microorganismelor: 711—712;
Geochimie: 489—490, 504—505, 514
Geocronologie: 507—508, 722, 744
Geodezie: 205, 455—464, 471, 589—590, 973
Geofizică: 273, 455—464, 471, 514, 935, 972—973
Geologie: 442, 454, 493—514, 950—951, 968, 970; — actuală: 512; — aeriană: 502
Geomagnetism: 467—469, 590
Geometrie(i): 22; 61, 69, 84—91; — afine: 891; — algebrică: 31—32, 39—41, 43, 84—89, 130; — arhimediană: 22; a cuaternionilor: 85; — diferențială 31, 33, 36, 130; — diferențială globală: 22, 90; — euclidiană: 27, 128; — finită: 22, 85; — hermitică: 22, 85; — infinitezimală: 85, 87—80, 91; — infinitezimală directă: 91; — metrică: 84; — a numerelor: 24; — neeuclidiană: 22, 27, 161; — proiectivă: 33, 84, 85—86, 103; — proiectiv-diferențială: 87—80; — a lui Cartan: 69, 89; — a lui Finsler: 89; — a lui Minkowski: 171; — a lui Riemann: 88—89, 599; (bazele—): 32, 41
Geosinclinal: 509
Germanium: 424
Germen: 638—639, 687
Gestiune: 113
Ghid de unde: 262, 275—276, 315
Giberelină: 755, 761
Gimnosperme: 803—804
Ginandromorfie: 690
Glaciații: 511, 744, 751
Glaucom: 915
Glob (structura—): 458—459, 503
Globuline: 649, 834
Glucide: 432, 616—617, 867
Gödel (axiomele lui—): 27; (teorema lui—): 115
Goldbach (problema lui—): 25—26
Golgi (aparatul lui, corpul lui—): 613—614, 681, 790
Gol (pozitiv): 254, 301, 303, 325
Gradienți fiziologici: 643, 692
Grădină zoologică: 674
Granit: 493—494, 510
Granulele lui Palade: 615, 731
Grafuri (teoria —): 124; — de fluență: 270
Grăsimi: 432; vezi Lipide
Gravimetru de interpolare: 460—461
Gravimetrie (chimie): 410; (geodezie): 461—462
Gravitație: 161, 180—181, 188; 391; (cîmp de—): 102, 170, 173—175, 183; (forțe de—): 172—173; (legea de—): 175—176
Graviton: 174, 391
Grefă: — animală: 612, 665, — organică: 916
Grignard (reactivii lui—): 425, 427—428
Grimaldi (omul din—): 749
Grîu: 792—793

Grupe sanguine: 647—648, 720, 858
Grupuri (teoria — lor): 22, 32, 37, 40—44, 61, 69, 77, 84, 88—89; — algebrice: 43; — compacte: 51; — local compacte: 37—38, 40, 41, 51; — proiective: 87; — topologice: 37; — de coomologie: 33; — de olonomie: 89; — de omologie: 33—34; — de amotopie: 37 — ale lui Lie: 31, 36, 38—39, 42—43, 69, 83, 85; — de raţionalitate: 69; (structura—): 41—42
Grundy (funcţia lui—): 115
Gutenberg (discontinuitatea lui—): 466, 503

Haar (măsura lui—): 38, 40
Hafniu: 421
Halou galactic: 604—605
Halogenare: 430
Hartă (i): — botanică: 800; — a cerului: 975; — geologică: 512; — izanomală: 462
Hartree (aproximaţia lui—): 308, 315; (cîmpul *self-consistent* al lui—): 228, 308
Hartree-Fock (teoria lui—): 308, 318, 351
Harvard (indicii de la—): 543, 554
Hausdorff (axioma lui—): 41
Heisenberg (mecanica lui—): 222, 248; vezi Incertitudine (relaţii de—)
Heliu: 233, 243, 246, 323, 333, 402, 418, 547, 577, 583; vezi şi Spectrul lui, precum şi Lichefierea lui
Hematii: 647, 649
Hemoglobine: 285; — anormale: 620, 720, 859
Heparină: 903
Hepatice: 802
Hermes (asteroidul): 532
Herpes: 881
Heterotalism: 816
Hibernare: 654; — artificială: 905
Hibridare: 636
Hidalgo (asteroidul): 532
Hidraţi de carbon: 408; vezi şi Glucide
Hidra de apă dulce: 687
Hidrodinamică: 54, 101, 139—140
Hidrogenare: 427—428
Hidrură(i): 425, 428; — borului: 425; — siliciului: 425
Hilbert (spaţiul lui—): 37—38, 73; (a 5-a problemă a lui—): 38; a 7-a problemă a lui—): 26; (programul lui—): 189
Hiperbolică (ecuaţie de tip—): 74—75
Hiperfrecvenţe: 273—280, 284—285
Hiperon(i): 153, 376, 386
Hipertensiune arterială: 861—862
Hipofiză: (lobul anterior al—): 851; — post —: 857
Hipotalamus: 611, 655, 857
Histamină: 844, 904
Histerezis: 189, 247
Histologie: 736
Hitlerism-nazism: 131, 162, 926
Homeostazie: 120, 654
Homo sapiens: 748
Horecker (ciclul lui—): 766
Hormon(i): 611, 656—662, 686, 834, 849—858, 898—901; — corticotrop: 852; — de creştere: 755, 851; — mitogeni: 631; — sexuali: 414, 657, 660—662, 853—855, 884; — tireotrop: 852; — vegetali: 755—761
Hubble (constanta lui—): 572—573, 597; (efectul lui—): 179; (legea lui—): 572, 597

Iarovizare: 758
Iconoscop: 282—284
Idealism: 140
Ideale: 32, 39—40
Ierbar: 794—795
Ierbicide: 760
Iluminare: 203—227, 769—770
Imagine: 204—206, 207—209; — calculată: 208—209; — eterată: 208—209; — relevată: 208—209;
Imunitate, imunologie: 612, 621, 663—665, 684, 838
Impedanţă: 269
Incertitudine (limitele de—): 98, 103; (principiul, relaţiile de — ale lui Heisenberg): 17, 150, 228, 381, 399
Indicatori coloraţi: 402, 410
Indol-acetic (acid 3—): 757
Inducţie: 643; — automată: 108, 109, 127—128
Industrie, cercetare industrială: 102, 108, 118, 202, 396, 932; — chimică: 436—437; — litică: 749—752; — nucleară: 202
Inel: 32—33, 38, 40; — de polinoame 87; — local: 40
Inerţie: — a energiei: 150, 166; (principiul—): 155—156, 171, 185; vezi şi Sistem de —:

Infecţie (lupta contra —): 889
Informaţie: 15, 99, 103—106, 108—112, 117, 122, 124, 126; (elipsoidul de —): 98; (viteză de —): 111
Infraroşu: 203, 216, 217—218, 293, 304, 320
I.N.H.: 896
Inimă: 859—864, 912—913
Inimă-plămîn artificial: 913
Insecte sociale: 706—707
Insecticide: 437
Instabilitate: 68
Instinct: 127, 702—704
Instrument (e): de observaţii astronomice: 520—522, 528—529; — optice: 205, 212—215; — meridian: 525
Insulină: 849—850, 898
Integrală: 22; — abeliană: 35; — stohastică: 96; vezi Lebesque, Radon, Riemann, Stieltjes
Integrare (matematică): 79—80, 82; — biologică: 670; — logică: 69; — calitativă: 66—67
Interacţie(i): 386—392; — slabă: 388, 389—390; — tare: 386—389, 391; — spin-orbită: 354; — neinvariantă la operaţiile simetrie spaţială: 388
Interferenţe: 147, 150, 204, 209, 213, 285
Interferometru (rezonator): 218, 275, 285, 320—321, 602
Interrelaţii moleculare: 443
Intersexualitate: 688—689
Invarianţă: — la P şi C: 389—390; — relativistă: 148; — a lui Lorentz: 166
Invarianţi (teoria —): 33; — integrali: 68
Inventar: — faunistic: 677; — floristic: 794; — al resurselor naturale: 968
Iod: 895; — radioactiv: 832
Ion complex: 413, 417
Ionizare: 144, 265, 399; — prin ciocniri: 286; (cameră de—): 219; (coeficient de —): 265
Ionosferă: 271—273, 310—311, 537
Iteraţie: 66
Izolatori: 197, 254, 325
Izomorfism: 480
Izospin: 387, 390
Izostazie (ipoteza izostatică): 457—458
Izosterie: 424
Izotopi: 337, 396, 412, 497; — stabili: 396, 412

Împrăştiere: — a luminii: 93, 101, 145, 225, 232, 300; — a neutronilor: 576; — nucleară: 358—359, 576 — a radiaţiilor X: 197, 300, 477; — rezonantă a radiaţiilor γ: 351
Învăţămînt ştiinţific: 933, 934, 938, 942, 962—966, 972—973

Jerbă: 367—368; — în cascadă: 368; — Auger: 368
Jocuri: — deductive: 115; — de şah: 115—116; — de întreprinderi: 127; — strategice: 106, 124—125
Joncţiune: 303, 305
Jordan (curba lui —): 73
Jukovski (teorema lui —): 187
Joule (transformarea lui —): 228; (efectul lui —): 228
Joule-Thomson (efectul lui —): 262
Jupiter (planetă): 531, 539, 594, 603

Kant-Laplace (ipoteza lui —): 581, 593—594
Kenotron: 267
Kirchhoff (legea lui —): 141, 276, 575
Krebs (ciclul lui —): 626—627, 766, 776
Kummer (suprafaţa lui —): 87

Laboratoare: 962; — subterane: 699—700
Lamarckism: 724—725
Lamb (efectul lui —): 153, 294, 391
Landé (formula lui —): 221, 223
Langerhans („insulele" lui —): 658, 849
Langmuir (sonda lui —): 289, 316
Lanţ (uri): — ale lui Markov: 94, 99—100; (calculul —): 42
Laplace (ecuaţia lui —): 72—73, 284; (forţa lui —): 258; (legea lui —): 94—97); (nebuloasa lui —): 593—594; (transformarea lui —): 75, 80, 83, 88, 269, 327
Laplace-Liapunov (problema lui —): 95
Laser: 227, 293, 321—322, 326

Lebesgue (integrala lui —): 47—48, 73, 82
Legătură (chim.): — atomică: 487—488; — chimică: 246, 395, 399—400, 416; — de coordinanţă (coordinativă): 417; — electronică: 429 — cu un electron: 419 — de hidrogen: 419; — prin perechi de electroni: 417; — de valenţă: 400
Legătură (mec.): — mecanică: 185—186; — olonomă;: 185; — neolonomă: 185; — de reglaj: 185
Lege: vezi Boltzmann, Child-Langmuir, Beer-Lambert, Coulomb, Curie, Dollo, Dulong şi Petit, Einstein, Gauss, Hubble, Huygens, Kirchhoff, Laplace, Mendel, Newton, Pasch, Poisson, Rayleigh-Jeans, Richardson, Rydberg, Stefan-Boltzmann, Stokes, Titius-Bode, Wiedemann-Franz, Wien
Legislaţie: 434
Lentile electronice: 284
Leptoni (conservarea lor): 390
Leptospiroze: 880
Leucocite: 648—649
Lévy-Cramer (ciclul lui —): 95—96
Lewis (teoria lui —): 399, 407, 429
Lichefiere: — a gazelor: 233, 402; — a heliului: 233, 402
Lichide: 193, 478
Lie (algebrele lui —): 34, 42—43; (cuadrica lui —): 88; (transformarea lui —): 88; vezi şi Grupurile lui —
Ligand: 410, 417
Limforeticuloză: 880
Limnologie: 697
Linii (teoria lor): 276
Linkage: 710
Liouville (ecuaţia lui —): 313
Lipide: 616—617, 626, 867
Lipiodol: 824
Litiu: 323
Litologie: 489—490
Lobacevski (spaţiul lui —): 598
Localizări germinale: 642
Logică: — matematică: 1061 — a probabilului: 12, 92, 105
Longitudini: 529—530
Lorentz (gazul lui —): 313; (invarianţă —): 166; (sistem de referinţă —): 170 (teoria electronilor a lui —): 140, 142, 153, 157, 220, 225, 240, 258, 261, 313, 315 (transformarea lui —): 158, 162, —163, 165, 170, 174
Lumină: 203—206; — coerentă: 294, 320, 322; (curbă de —): 560; (descompunerea —): 217; (antrenarea —): 157; (natura —): 203—204 (propagarea —): 160, 162—163; (teoria —): 182; (teoria ondulatorie a —): 130—140, 145, 165, 203, 219; (teoria corpusculară a —): 165, 203, 219; (viteza —): 157, 182
Luminescenţă: 200, 476
Luna: 279, 282, 520, 530, 533—534, 542, 585, 588, 591, 603
Lunetă astronomică: 212; 283, 520
Lungime: — Debye: 289—290, 317; — de undă Compton: 169; (unitatea de —): 227, 296
Lunik (rachetă cosmică): 542, 585—586, 591
Lupta pentru viaţă: 100

Maşini-unelte: 127—128; — autoreproducătoare: 116; — de calcul: 112—114, 126—127; — de demonstrat: 128; — de diagnostic: 113; — electronice: 113, 117, 194, 213; — logice: 114; — pentru prelucrarea informaţiei: 115, — Turing: 114
Maclă: 471
Macrolingvistică: 122
Macromolecule: 15, 612, 618
Magmă, magmatism: 493—494
Magneziu: 423
Magnetism: 239—253, 400, 485; — nuclear: 251
Magnetizare: 239, 242; — la temperatură foarte joasă: 247; — tehnică: 247—248; — spontană: 242; (coeficient de —): 240; (coeficient de — paramagnetică): 244
Magnetocaloric (fenomen): 241
Magnetohidrodinamică: 310—315, 582—583
Magnetometru cu precesie protonică: 469
Magnetonul: — lui Bohr: 244, 251; — lui Weiss: 244; — nuclear: 251
Magnetron: 278, 287; — cu undă progresivă: 278
Magnon: 247
Mamifere: 735—739, 741
Mariner (rachetă cosmică): 587, 591

Marte (planetă): 533, 540—541, 587
Masă (şcoala adepţilor —): 184
Maser: 180—181, 227, 265, 295, 297, 306, 317, 326; — cu undă progresivă: 297
Măsură: 93, 11; — lui Borel: 28—29, 48; —lui Haar: 38, 40; —lui Jordan: 28; —lui Lebesgue: 28—29, 47, — lui Radon: 74
Matematică: 14, 21—107, 442, 935—936, 958—959, 974; — aplicată: 131—132; — pură: 131—132
Materializare: 152, 167, 226, 342, 385
Mauerantrop: 748, 750
Maxwell (cîmpul lui —): 183; (demonul lui —): 110; (ecuaţia lui —): 157, 158—159, 261, 276, 309, 311, 317, 382; (funcţia de distribuţie a lui —): 299, 313; (teoria electromagnetică a lui —): 130, 143, 157, 158—159, 174, 217, 261, 327, 398
Maxwell-Lorentz (teoria electromagnetică a lui —): 145
Mecanică: 61, 69, 77, 93, 130, 143, 147, 155—157, 158, 184—185, 187, 189, 222, 283, 325; —aleatoare: 93, 101; —analitică: 147; —cerească: 93, 175, 525; —cuantică: 38, 149—150, 152, 199, 222—224, 225, 233, 245—246, 254, 263—265, 293, 302, 325, 381, 395, 399, 418; — a fluidelor: 101, 187—188, 311; — matricială: 149, 222, 399; — a mediilor continue: 130, 188; — ondulatorie: 17, 147—151, 154, 160, 195, 222—223, 225, 264, 283, 294, 299, 305, 307, 325, 381, 399
Medicină: 397, 787, 821—917, 959—961, 966, 972; — ayurvedică: 959—960; — modernă: 961; — tradiţională; 972; (rolul social al —): 916—917
Medicamente: — hormonale: 436; — organice: 433—434; vezi şi Chimioterapie, Terapeutică
Mediu interstelar: 566—569, 577—578
Medulosuprarenală: 851
Meioză: 813
Memorie: 112—113, 116; — electronică: 305—306
Mendel (legile lui —): 708, 710, 720, 813, 944
Mendeleev (clasificarea periodică a lui —): 13, 226, 301, 338, 377, 398, 489, 547
Mercur (planeta): 530, 532—533, 541, 536, 603; (avansul periheliului lui —): 175, 177, 533
Meromorfie: 54, 56, 58
Metabolism: 651, 832—833; — bazal: 651; — celular: 438, 621, 622—626, 636; — intermediar: 440—441; —al azotului: 397, 441; — al grăsimilor: 397, 441
Metalogenie: 495—496, 504
Metalografie: 149, 195
Metalurgie: 195, 216
Metaloid: 486
Metamictă (stare —): 474—475
Metamorfism: 493—496, 499, 506—507, 510
Metafizică: 146, 162
Metale: 195, 202, 423—424
Meteorit: 495, 498—499
Meteorologie: 93, 101, 107, 113, 469—470,
Metrologie: 227, 326
Mezoni: 152—153, 168, 365, 371—372; mezonul μ: 152, 365, 371—372; mezonul π: 153, 365, 371—372; mezonul K: 153, 376: mezonul π^{0}: 373—374; cîmp mezonic: 152
Micelii: 15
Miciurinism: 936
Micologie: 809—810, 815—816
Microanaliză: 410—411
Microbiologie: 149, 632—633, 723
Micromerism: 704—705
Micromanipulare: 614, 673
Micrometode: 410—411
Micro-organisme: 429
Micropaleontologie: 679
Microscop: 215, 613, 672; — cu contrast de fază: 212, 613—614, 672, — electronic: 149, 200, 215, 283—286, 325, 477, 613—614, 673; — interferenţial: 216, 285
Microscopice (tehnici —): 829
Microzom: 780, 790
Midas (satelit): 280, 586, 589
Migmatism: 493—494
Migraţii: 704
Millikan (experienţa lui —): 256
Mineralogie: 192
Minerale, ştiinţe mineralogice: 474—500; — esenţiale: 440; — radioactive: 491—492; (clasificarea —): 490, 493—494
Minkowski (geometria lui —): 171—172
Miofibrilă: 654

Mioglobină: 195, 654
Mişcare: — browniană: 100, 141, 160, 229, 271, 288, 314, 405; — a Polului: 529
Mitocondrii: 774, 780, 789
Mitoză: 631
Miuon (mezon μ): 390, 392
Mobilitate: 260, 288
Model mecanic: 188
Model nuclear: 152, 351—356, 391; — a lui Bohr-Mottelson: 355; — cu corelaţii de perechi: 356; — în pături: 353—355; — cu interacţie directă 362; — unificat: 355
Moderatori ai ritmului cardiac: 897
Modulaţie: 269, 276
Moduli (teoria —): 32—33, 40
Mohole (proiectul —): 562
Mohorovičič (discontinuitatea lui —): 466, 502, 510
Moleculă (e): —active: 403; —de hidrogen: 418
Moment: — cinetic: 245; — elementar: 244; — magnetic: 239—245; — magnetic molecular: 241; —nuclear: 251—253; —al neutronului: 253
Monogeneitate: 22, 52—53
Mononucleoză: 882
Monte-Carlo (metoda —): 96—97, 126
Morfogenetică: 784—785
Morfologie vegetală: 782—785
Mőssbauer (efectul lui —): 180—182, 249, 351
Moseley (formula lui —): 221, 226, 398
Mozaic: 642, 691
Mozaicul tutunului (virus): 634—635, 780
Multiplicităţi caracteristice: 71
Multivalenţă: 60
Mulţimi (teorie a —): 27—30, 46—49, 124—125: — analitice: 29—30; (măsură a —): 28—29, 46—49
Muşchi: (structura şi fiziologia —): 653—654
Mutaţie: 718—721, 727; — cromozomică: 717—718; —dirijată: 718; —genică: 717; — provocată: 720—721

Neanderthal (Omul de —): 449, 747
Nebulară (ipoteza —): 582, 593—594
Nebuloasă (e): — extragalactică: 569—573; — gazoasă: 566; —obscură: 565—566; — planetară: 578; vezi Andromeda, Racul, Orion
Nebulium: 543, 547—548, 576
Néel (teoria lui —): 248
Negaton: 151
Negentropie: 111
Neliniare (efecte, fenomene —): 293, 307, 319
Neomicină: 894
Neopilina: 678
Neptun (planetă): 531—532, 539, 541
Nernst (principiul lui —): 298, 401
Nerv optic: 210
Neurobiochimie: 667
Neurochirurgie: 913
Neurohistologie: 666—667
Neurohormon: 611, 857
Neurologie clinică: 872
Neuron: 666
Neurofiziologie: 116, 119—120, 611, 666—668
Neuroplegice: 904
Neurosecreţie: 685—686
Neurospora: 816
Neutrin: 151
Neutron (i): 13, 151, 251, 341, 343, 358, 384—387, 396; — lenţi: 352, 360
Nevertebrate: 678—680, 684—692
Newton (dinamica lui —): 155; (experienţa lui —): 217; (focarul lui —): 521; (legea lui —): 174, 176, 182, 574, 593; legile newtoniene: 14, 175, 184—185, 191
Niobiu: 202
Nivel (e): —de energie ale electronilor: 294, —de energie nucleară: 349—352; —Fermi: 298, 309; subnivale Zeeman: 297
Nivelare: 455
Nobel, premiu: 160, 252, 287, 304, 619, 670, 762, 793, 940, 943, 945, 973
Norii: — lui Barnard: 566; — lui Debye: 290, 318; — lui Magellan: 561, 564, 573
Normalitate: 57
Nove: 564
Nucleu (mat.): 60—61
Nucleu (fiz.): — atomic: 252, 335—337; — compus: 352, 361
Nucleu (biol.): — celular: 614—615, 790
Nucleosinteză: 580
Nucleon: 167, 169, 253, 352
Nucleoproteine: 617

Număr (e) (mat.): — algebrice: 26; — iraţionale: 26, 45; — ordinale: 27; — p-adice: 39; — prime: 24—25; — transcendente: 26; — π: 115; (teoria —): 23—27, 31—32, 39—41, 43—44, 61, 130; vezi Bernoulli, Betti
Număr (e) (fiz.): — atomic: 398; — magic: 349, 353—355; — cuantic: 222, 224; vezi Avogadro, Wolf
Numeraţie binară: 113
Numere mari (legea —): 94—95
Nutriţie: 866; — azotată: 780; — carbonată: 771—772; — minerală: 777—778; (bolile de —): 866—868
Nylon: 437

Oameni: — fosili: 747—753; vezi şi Cro-Magnon, Grimaldi, La Solo, Neanderthal, Ofnet, Pitdown, Tepexpan, Wadjak
Obiectivistă (teoria —): 703—705
Oboseală a metalelor: 202
Observatoare: 522, 934; vezi Palomar, Wilson etc.
Oceanografie: 978; — biologică: 694—696; — fizică: 470—471, 503
Ochi: 204—206, 210, 523
Octet stabil: 400
Oculistică: 204
Ofnet (Omul din —): 749
Oftalmologie: 832, 915
Oglindă: — de telescop: 214—215; — parabolică: 215
Olomorfie: 52—54, 59, 64
Omografie: 85
Omologie: 22, 33—34
Omomorfism: 35
Ontogenetică: 783
Opalescenţă critică: 141, 232
Operator (i): — hermitic: 38; — al lui Mikusinsky: 83
Optică: 203, 216, 253, 275, 283, 327; — a cristalelor: 475—476; — electronică: 149, 283—286; — energetică: 208; — fizică: 139, 203—206; — fiziologică: 204, 207; — geometrică: 139, 204, 207, 283; — maxwelliană: 158; — psihologică: 204, 206—207, 210; — tehnică: 204, 212—213
Orbite (orbitale): 246, 398; — electronice: 398—399; — moleculare: 418; (popularea —): 418
Oreopitec: 746—747
Organizaţie (i): — guvernamentale: 976—977; — internaţionale: 674; — neguvernamentale: 975—976
Organite celulare: 614—615, 632
Orion (nebuloasă): 566
Ortogeneză: 741
Ortohidrogen: 236
Oscilator, oscilaţie: 268—269, 276, 281, 293, 306
Osciloscop catodic: 281
Ovare: 836, 854—855
Oxidare biologică: 762—763, 765

Paleantropi: 749
Paleobotanică: 507
Paleogeografie: 510—511
Paleomagnetism: 469
Paleoneurologie: 722
Paleontologie: 506—507, 514, 612, 679—680, 701, 722, 736—741, 746—747, 951
Palinologie: 746, 786
Paludism: 896, 949
Pămînt: 271, 280, 520, 528—531, 591, 597; (mişcarea —): 157; (rotaţia —): 102, 170, 530—531; (ştiinţele —): 455—514
Pămînturi rare (elemente): 246, 420, 422—423
Pancreas: 837, 849—850
Parabolic (ecuaţii de tip —): 75
Paradox(uri): 190; — lui d'Alembert: 187; — relativităţii restrînse: 165—166
Parageneză: 491
Parahidrogen: 236
Paralaxă: — solară: 526; — spectroscopică: 544
Paramagnetism: 239—243, 246, 291, 297—298
Parazitologie: 682—684; — experimentală: 683
Parasimpatic: 668
Paratiroidă: 837, 850
Parcurs liber mijlociu: 299
Paritate (conservarea —): 389; (neconservarea —): 389
Parkinson (boala lui —): 905, 914
Partenocarpie: 760
Partenogeneză: 688; — experimentală: 612, 640—641

Particule elementare: 16—17, 151—154, 168, 183, 375—380, 391—392; (demografia —) 100
Părţile finite ale lui Hadamard: 76, 83
P.A.S.: 896
Paschen (efectul — sau Paschen-Bach): 220; (legea lui —): 259
Patii: 702—703
Patologie: 841—887
Patterson (seriile lui —): 194
P.C.T. (teorema —): 388
Pedologie: 797
Peltier (efectul —): 199, 262
Pendulul: — lui Foucault: 170, 172; — relativ: 459—460
Penicilină: 195, 435, 793, 893—894
Peretele lui Bloch: 247
Perfecţiune optică: 213
Peşteri: 745
Pete solare: 100, 311, 536—537, 603
Petrografie: 484—485
Petrol: 413, 415
Pfaff (formulele lui —): 89; (sistemele lui —): 70, 89, 127
pH: 410
Picard (ciclul lui —): 58; (punctul lui —): 56; (teorema lui —): 55—56, 60, 63 (valoarea excepţională a lui —): 56
Picătură lichidă (modelul —): 152, 346, 349, 352, 355, 362
Pigmenţi vegetali: 414, 772
Pickering (fotometrul lui —): 549, 557; (regula lui —): 550, 553
Piezoelectricitate: 198, 293, 295, 325, 477
Pilă: — atomică: 113, 347, 362—363; — electronică: 402; — fotoelectrică: 303, 324; — termoelectrică: 218, 324, 525
Pion (mezon π): 387, 392
Pioneer (satelit): 587
Piltdown (Omul din —): 748
Piroelectricitate: 292, 485
Pitecantrop: 748, 750, 751
Pitecantropieni: 748, 750—751
Plan: — de experienţe: 102—103, 109, 126; — factorial: 103
Planck (constanta lui —): 17, 142, 144—145, 219, 221, 235, 265, 284, 380; (formula lui —): 142, 146, 219, 226, 237, 575; (teoria radiaţiei a lui —): 256—257, 296
Plancton: 697
Planete: 176, 531—532, 540—541, 603
Plasmă (fiz.): 234, 261—262, 286—287, 310—319, 326, 583; (jet (arzător) cu —): 234; (frecvenţa —): 287, 314; (radiaţia —): 310—311, 312, 314—316, 323—324
Plasmă sanguină: 408, 649—650
Plasmon: 318, 325
Plaste: 789
Plastice: 437
Plasticitate: 192
Plateau (problema lui —): 74, 87
Pluton (planetă): 532, 539
PNH$_2$: 767, 774—775
Pneumologie: 868—872
Pogonofore: 678
Poincaré (ciclul lui —): 66—68
Poisson (curbele şi ecuaţiile lui —): 98—99, 182; (stabilitate de tip —): 68
Polarizare: 203—213; — atomică: 291; — electrică: 261, 291—293; — a liniilor spectrale: 145; — a vidului: 153
Polarografie: 411
Poliomielită: 120, 874, 892
Politica ştiinţei: 942
Poliartrită cronică evolutivă: 899
Polimeri: 929; (macro —): 195, 618
Polimorfism: 488
Poliploidie: 717
Polisomie: 717—718
Poloniu: 330, 395
Pompare optică: 405
Pontreaghin (clasele lui —): 33
Populaţii stelare: 546, 562, 573
Porfirine: 414
Potenţial: — de acţiune: 666; — chimic: 230; (ecuaţia —): 72—74; (teoria —): 76, 83
Pozitivism: 140, 149, 152, 222
Poziton, pozitron: 149, 151, 152, 384; vezi şi Electroni pozitivi
Preadaptare: 725
Precizia măsurătorilor: 11—12

Preistorie: 743—753
Prematuri (copii): 908
Presiunea radiației: 219
Presiuni înalte: 234, 257
Previziune: 108
Primate: 741
Principiu: vezi Excluziune, Carnot, Curie, Dirichlet, Nernst, Ritz
Probabilism, interpretare probabilistă: 150, 152, 154, 223, 381
Probabilități (teoria —): 22, 77, 82, 92—107, 132; — ale cauzelor: 105; — de tranziție: 146
Problemă: vezi Cauchy, Dirichlet, Goldbach, Hilbert, Laplace, Leapunov, Plateau
Produs de solubilitate: 410
Programare: 114, 116, 126; — liniară: 126
Proiect: vezi Mohole, Vanguard, Westford
Promețiu: 420
Propagare trohaică: 279
Propagare troposferică: 279
Prospecțiune geografică și minieră: 457, 461, 468, 501—505, 513, 970
Protecția naturii: 700, 791—972
Proteine: 15, 195, 408, 414—415, 432, 440, 612, 618—619, 780, 866—867; — ale plasmei sanguine: 833—834; (fracționare —): 833
Protide: 616—617
Protistologie: 680—682, 723
Proton: 151, 251—252
Prund *(pebble)* (cultură de —): 449
Psihiatrie: 875—876; — a copilului: 876—877
Psihochirurgie: 120
Psihologie: 876; — animală: 119; — a descoperirilor: 13—14
Psihofiziologie: 112, 120
Pteridofite: 802
Publicații: 64, 129—130, 674—675, 795, 800, 935, 970—971
Pulbere (metoda —): 195
Punct: — neregulat: 57; — singular esențial: 55; — material: 139; vezi Curie, Picard, Weierstrass
Puncție: 828
Puritate: 11
Putere: — de rezoluție sau de separare: 149, 209

Quick: 833, 903

Rachetă (e): 273, 326, 367, 369, 469, 536, 538, 542, 576, 584, 589, 936
Radar: 275, 278—280, 283, 294, 310, 322, 326, 364
Radiație (i): — electromagnetice: 12, 217—218; — a lui Bothe și Becker: 340—342; — ciclotronică: 315; — cosmică primară: 368—370; (efectele biologice ale —): 335; — de frînare: 316, 382; (ipoteza asupra —): 403; — giromagnetică: 316; — sincrotronică: 315, 602; (transferul —): 575 — 577; vezi și Corp negru, Planck
Radiații (raze): catodice: 140, 255—256, 263, 281; — ale lui Becquerel: 256, 260, 263, 331; — ale lui Lenard: 256, 397; — pozitive: 398; — ale lui Röntgen: 260, 330; — α (alfa): 260, 333—334, 336; — β (beta): 151, 256, 260, 333—334; — γ (gamma): 218, 333, 536; — X: 13, 192, 195, 203, 217—218, 232, 284, 293, 329, 398, 536, 631, 823—827, 908—909
Radicali liberi: 430
Radioactivitate: — naturală: 13, 151, 232, 329—335, 394—396, 499, 514; — artificială: 342—345, 396, 721, 826, 883—884; — α (alfa): 338—339, 348; — β (beta negativă): 338—339, 346, 348, 390; — β^{+} (beta pozitivă): 348; (forme de —): 348—351
Radioastronomie: 16, 102, 273, 298—326, 467—468, 520, 600—605
Radiocristalografie: 192—193, 475—478
Radiodermită: 826, 883
Radiodiagnostic: 826
Radiodifuziune: 272—273, 326
Radioelectricitate: 254, 265—269, 270—271, 273—275, 293, 294—295, 303—304, 306, 319—320, 327
Radioelemente: 330—335; (detectarea —): 333—334; vezi Radioizotopi
Radiofrecvențe: 181, 249, 252
Radiografie în secțiuni: 826
Radioizotopi: 343—344, 348, 396, 415—416, 423, 673, 779, 832

Radiologie: 823—827
Radiometru: 218, 555
Radioscopie: 283
Radiosurse: 573, 601—602, 605
Radiotelescoape: 573, 603
Radioterapie: 908—910
Radiu: 330—332, 395—396, 631
Radon (integrala lui —): 79, 82; (măsura lui —): 74
Raman (efectul lui —): 225, 485
Ramsey (ipoteza lui —): 458
Răspîndire: — a plantelor: 799
Rayleigh-Jeans (legea lui —): 142
Raza: — atomică: 486—487; — ionică: 486—487
Raze spectrale (linii —): 145—146; 398; vezi Spectroscopie; (decalarea gravitaţională a —): 178—179; — de 21 cm a hidrogenului: 602, 604
Reactanţă neliniară: 306
Reactor nuclear: 396
Reactiv(i): — Grignard: 425, 427—428; — lui Kunkel: 861
Reacţia (i): 268, 270, 277; — chimice: 228, 413; — în lanţ (chim.): 404; — în lanţ (fiz. nucl.): 346; — nucleare: 228, 356; 358—364, 392, 520; — termonucleare: 580, 583; —lui Blackman: 777; —lui Bordet-Wassermann: 648, 664; — lui Feulgen: 617, 633, 790
Reacţie (circuit de —): 118—120
Reanimare: 906; — cardiacă: 913; — medicală: 906; — respiratorie: 907
Receptori de lumină: 523—525; vezi Fotoelectricitate, Fotografie, Fotomultiplicator
Redundanţă: 111, 121
Redresor: 267, 302, 305
Reducere: 428
Reflexe: 669, 702; — condiţionate: 116, 120, 669—702
Reglare (fiz.): 119; — biologică: 642, 691
Regulatorul lui Watt: 117—118
Relaţie(i): — lui Bragg: 219, 300, 475—476; — masă-luminozitate: 580; — perioadă-luminozitate: 561—562, 571—573; — structurale: 443
Relativitate: 14, 22, 143, 145, 147, 151, 258, 262, 392, 598; — mişcării: 155—156, 185; — generală: 14, 89, 161—162, 164, 165, 170—182, 532—533, 576; — restrînsă: 14, 155—161, 164, 165, 258
Relaxare: 293, 297; — paramagnetică: 249; (oscilaţii de—): 68
Relay (satelit): 589, 591
Remanenţă: 243
Reniu: 421
Renormare: 391
Reologie: 192
Reper absolut: 527
Reptile: 737—738
Reprezentare: — conformă: 52; — a funcţiilor analitice: 59—61; — liniară: 38, 42
Reproducere: — animală: 612, 638—642; — asexuată: 679, 690; — a nevertebratelor: 686—690; — a vegetalelor: 813—817; — a virusurilor: 635—636
Respiraţie: 761—765; 766—767, 775, 837
Retină: 210
Reţea: — cristalină: 293, 300—301, 307
  — de difracţie: 216—219
  — electrică: 269—271, 306, 323
Reumatism: 879; — articular acut: 860, 885—886
Rezervaţii naturale: 933
Rezistivitate: 197, 263, 300
Rezonanţă: 147, 181, 276, 360, 418; — ciclotronică: 315, 317, 319; — feromagnetică: 251; — magnetică: 251; — magnetică a fasciculelor atomice: 251; — nucleară: 250; — optică: 221; — paramagnetică electronică: 250, 295; — magnetică nucleară: 251, 295, 413
Rezumat(e): — analitice: 129; — exhaustive: 97—98
Ribozomi: 790
Richardson (legea lui —): 263, 266, 299
Rickettsioze: 839, 881
Riemann: (spaţiul lui —): 25, 176; (funcţia lui —): 59, 62; (geometria lui —): 42, 89, 599; (integrala lui —): 49; (sfera lui —): 55, 57—58; (suprafaţa lui —): 55, 57, 62, 87; (varietatea lui —): 88—89

Rinichi: 862—864; — artificial: 907
Risc (teoria —): 106
Ritz (principiul variaţional al lui —): 220, 351
Roci: — eruptive: 505; — metamorfice: 506; — sedimentare: 496—497, 506; (clasificarea —): 505—506
Rodoficofite: 809
Rotaţie galactică: 578, 594—595
Rubeolă: 881
Rydberg (constanta lui —): 144, 220; (legea lui —): 398

Saha (teoria lui —): 543—544, 577
Salvarsan: 434, 895
Sateliţi: 534, 539; — artificiali: 101, 173, 273, 280, 311, 324—325, 326, 367, 370, 461, 520, 525, 538, 584—591
Saturn (planetă): 531, 533, 541, 603
Săruri minerale: 616
Scafandru autonom: 696
Scarlatină: 879
Schimb(uri): — de ioni: 423; — ştiinţifice: 973
Schizoficofite: 807
Schrödinger (teoria, ecuaţia lui —): 147—149, 222, 300, 308, 381, 384, 399
Scriere: 972—973
Scut continental: 511
Şcolaritate: 878
Secreţie urinară: 652
Secţiune eficace: 352, 358
Seismograf: 464—465
Seimologie: 464—466, 503, 950
Selecţie (reguli de —): 224, 388
Selecţie naturală: 726
Seleniu: 307
Semiconductoare: 198, 254, 302—307, 319, 325, 525
Seminare: 130
Serie: — de funcţii ortogonale: 50; — de polinoame: 51; — divergentă: 22, 50; — trigonometrică: 25, 50; vezi Balmer, Dirichlet, Faber, Fourier, Patterson, Taylor, Cebîşev
Ser, seroterapie: 890
Servomecanism: 117, 128
Sex: — cromatinian: 842; — cromozom: 842; (determinarea — la embrioni): 662—663
Sexualitatea vegetală: 813—817
Semnale (teoria —): 111
Sfere gazoase (teorie —): 574—575
Siaj latent: 187
Silicaţi: 419, 490, 504
Siliciu: 302, 307, 424
Silicon: 425
Simplex (metoda —): 126
Simultaneitate: 159, 162—163
Sinantropi: 748, 750
Sînge: 836, 858
Singularităţi: 63—64, 67, 74
Sintetică (teorie): 727
Sociale (fenomene —): 120, 705—706; (problemele — ale ştiinţei): 14—15, 417—418
Smoluchowski (ecuaţia lui —): 99
Societăţi ştiinţifice: 934, 938—939, 961, 970
Sodiu: 424
Soare: 175—176, 520, 530—535, 543—544, 556, 591—592, 594, 603—604; (cîmpul magnetic al —): 311, 535—536; (radiaţia radioelectrică a —): 536—537, 601, 603—604; — calm: vezi Anul soarelui calm
Soare-Pămînt (legături): 538, 582
Solide: 192—193, 261—265, 297—311, 317—318, 325, 478; vezi Minerale, Cristalografie
Solidism: 494
Soluţii (teoria —): 401, 405; vezi Electroliţi
Soma: 639, 687
Somn: 656
Sommerfeld (teoria lui —): 145, 221, 244, 299, 325
Sondă electronică: 285, 287, 317
Spaţiu(i): 160, 163—164, 171—172; — absolut: 155, 170—171, 184; — abstract: 62, 79—82; — clasificare: 36; — euclidian: 83, 170—171; fibrate: 22, 35—37, 43, 91; — funcţional: 79—83;

— L: 37; — liniar: 85; — al momentelor: 196; — neeuclidian: 171—172, 176—179; — neriemannian: 183; — normat: 76; — nuclear: 83; — proiectiv: 85; — sferic: 597; — topologic: 37, 83; — vectorial: 32—33, 37; — al lui Banach: 37, 76, 96; — al lui Fréchet: 83; al lui Hilbert: 37—38, 73; — al lui Lobacevski: 598; — al lui Riemann: 35, 176, 183
Specie: — minerală: 490—491, 492—493; — vegetală: 791, 794
Specializare: 132, 679, 917
Specificitate: 16, 620
Spectrograf: 217, 286, 543, 567
— de masă: 286
— de viteze: 286
Spectroheliograf: 537
Spectrometru; Spectrometrie: 218, 411
— de masă: 412—413
— magnetic: 350
Spectrofotometrie: 411
Spectroscopie (spectre): 216—219, 221—222; 226, 235, 250—251, 299, 411; — atomică: 219, 223; — hertziană: 279, 294—297, 326; — infraroşie: 224—225, 411; — moleculară: 224—225, 226; — a radiaţiilor X: 221, 227, 475; — stelară: 543—548, 557—558, 562
Spectru (e): 519; — de benzi: 224; — de difuzie moleculară: 225; — de linii: 14, 145, 219, 221, 576—577; — al hidrogenului: 144, 153, 219; — al heliului: 144, 149, 221, 223; vezi Spectroscopie
Speranţă matematică: 101, 107
Spermatofite: 803—806
Spin: 148, 167, 183, 221, 236, 245—246, 263—264, 383, 393, 417—418
Spiramicină: 894
Sputnik (satelit): 585—587, 590, 936—937
Stabilitate: 68, 270
Stafilococie: 879—880
Stark (efectul —): 145—146, 220—221, 294, 316, 577
Stark-Lo Surdo (efectul —): 220
Stare (i): — dezordonată: 194; — mezomorfe: 478; — metalică: 424—425; — ordonată: 184; — solidă: 420
Staţionar (proces —): 94; (stări —): 144, 146—148, 221, 224
Statistică (i): 92—102, 109, 122, 126, 241, 243, 298, 300; — lui Bose-Einstein: 149, 226, 236, 298, 300, 383; — lui Fermi-Dirac: 149, 226, 236, 298—300, 325, 383; — cuantice: 226, 235
Stele: — duble cu eclipse: 557—559; — duble vizuale: 557; — uriaşe: 518—519, 544; — galbene: 517; — pitice albe: 311, 518—519, 544, 546, 581; — variabile: 559—560; (evoluţia —): 519, 546, 559, 578—581
Ştefan-Boltzmann (legea lui —): 142—143, 574—575
Stereochimie: 430—431
Stern şi Gerlach (experienţa lui —): 221, 244, 246, 296
Steroizi: 433, 884
Steroli: 616
Sticlă: 478
— optică: 213, 217
Stieltjes (integrala lui —): 50, 82
Stochastic(ă) (legătură, proces —): 94, 100
Stokes (legea lui —): 288, 292
Stranietate: 183, 377
Strat(uri): — limită: 187; — subţiri: 213—214; — monomoleculare: 408—409; — nucleare (ipoteza —): 152
Stratigrafie: 506—508, 512
Strălucire: — energetică: — metalică: 199
Streptococi: 879
Streptomicină: 893—894, 896
Structură (mat.): 14, 16, 22, 132; — algebrică: 32, 34, 64; — topologică: 39; (recunoaşterea —): 121
Structură (fiz.): — atomică: 13, 192—193, 329, 395; — electronică: 195, 221, 234, 241; — fină a liniilor spectrale: 145, 148, 152, 167, 221, 245, 294; — hiperfină a liniilor spectrale: 224, 251; — moleculară: 16, 149, 234
Structurologie: 493
Sulfamide: 434—435, 895
Sulfone: 895

Supraconductibilitate: 187, 233, 300, 308—310, 318, 320
Suprafaţă: — algebrică: 84—87; — neolonomă: 88; — riglată: 87; — de undă: 69; — minimă: 74, 87; — generalizată: 82; vezi Fermi, Kummer, Riemann
Susceptibilitate: — complex: 249; — diamagnetică: 241, 249; — paramagnetică: 400
Simbioză: 682, 684
Simpatic (sistemul —): 655
Sinapsă: 667, 670
Sincrociclotron: 169, 363—364, 372—373
Sincrotron: 169, 286; — electronic: 364; — protonic: 364, 373
Sinteză (chim.): 16, 234, 427; — a amoniacului: 402; — a mineralelor: 499; — organică: 428—429
Sinuzie: 798
Sistematică: — vegetală: 794, 800—813; — zoologică: 675—677
Sistem (mec.): — dinamic: 671; — al lui Galilei: 155—157; — olonom: 186; — de inerţie: 155—156, 162, 172; — al lui Lorentz: 170; — de referinţă: 155, 157, 170, 173, 185; — reversibil: 229—230
Sistem solar: 179, 531—542, 591, 593—594, 599—600
Syzygii (teorema —): 34
Şiretenie: — matematizată: 124—125
Şiruri spectrale: 36, 43
Şoc relativist: 169—170

Taxonomie: 794, 795, 801
Taylor (seria lui —): 26, 50, 59
Tectonică: 508—510, 512, 514
Tehnica ochelarilor: 204, 211
Tehneţiu: 421
Telegrafişti (ecuaţia —): 276
Telecomunicaţii: 269, 280, 298, 326, 588—589
Telescoape: 214—216, 282—283, 518, 520—522; — Cassegrain: 216, 521; — Schmidt: 215, 522, 565; — reflectoare Crossley: 566, 569; — de la Mount Palomar: 214, 521, 572—573; — de la Mount Wilson: 521, 569, 570, 572
Televiziune: 268, 279—283
Telstar (satelit): 280, 589, 591
Temperatură(i): 233—234; — joase: 233—234; — înalte: 234—235; — critică: 308; — a lui Debye: 300; — de spin: 250, 252; — echivalentă a zgomotului: 270—271
Timp: 159, 163—164; — al Efemeridelor: 531; — relativ: 185; — universal: 155; — de relaxare: 156, 159, 292, 325; (măsurarea —): 296, 528—531; vezi şi Ceas
Tensiune arterială: 119
Tepexpan (Omul de la —): 752, 951
Teratogeneză: 645
Teramicină: 894
Terase marine şi fluviatile: 745
Teritoriu: 706
Test: — al ipotezelor statistice: 22, 98—99; — al lui Quicke: 833, 903
Testicule: 836, 853—854
Tetanos: 891
Tetraciclină: 894
Teoreme; vezi Bayes, Borel, Cauchy, Kovalevskaia, Gödel, Jukovski, Picard
Teorie(i): — unitare: 183—184; — neudaliste: 183; vezi d'Alembert, Arrhenius, Bohr, Bouguer, Brønsted-Lowry, Debye, Debye-Hückel, Dirac, Drude, Einstein, Fourier, Fresnel, Galois, Hartree-Fock, Lewis, Lorentz Maxwell, Maxwell-Lorentz, Planck, Saha, Sommerfeld, Wegener, Weiss
Terapeutică(i): 822, 888—917; — biologice: 889—895; — chimice: 895—898; — fiziologice: 898—906
Termodinamică: 14, 139—140, 141—142, 189, 228—239, 243, 262—263, 265, 300, 308—309, 395, 401; — clasică: 401—405; — statistică: 230—238, 252—253, 289
Termoelectrică (efect —): 262, 299
Termoionic (efect, emisie —): 140, 256, 259—260, 262—264, 266, 271, 299, 324
Ţesut: — conjunctiv: 646; — osos: 646
Thoriu: 331
Tifoide: 880
Tifos: 882

Tip(uri): Harvard: 543; (teoriile — spectrale): 576—577
Tiroida: 832, 835, 852
Tiros (satelit): 469, 587—588, 591
Tirotricină: 892
Titan: 424
Titius-Bode (legea lui —): 594
Topologie: 22, 31—38, 39—42, 62—63, 67, 76—77, 80, 87, 130—131, 270; — algebrică: 33, 37, 40—42, 90, 124, 131—132; combinatorie: 32, 37; — diferențială: 131—132; — a lui Zariski: 41
Totalizare: 49
Toxoplasmoză: 882—883
TPN: 623, 764, 774
TPNH$_2$: 775, 777
Traducere(i): 954—955, 960, 965—966, 972; — automată: 122—176
Transducție: 715
Transformări: — biraționale: 84; — de contact: 691; — infinitezimale: 70; vezi Galileo, Fourier, Laplace, Lie, Lorentz
Transfuzie sanguină: 902—904
Tranzistor: 199, 254, 270—271, 297—298, 302—305, 325—326; — cu joncțiune: 304—305; — cu efect de cîmp: 305; — cu vîrfuri: 304; — unipolar: 305
Tranziții: — cuantice: 145—147, 181, 295—296, 381; — de speța a doua: 243, 308
Translocație: 779
Transmutație: — atomică: 151, 333, 338, 356, 396, 579; vezi Radioactivitate
Transuraniene (elemente —): 345, 421—422
Trasor (element —): 396, 412—413, 673, 768
Triangulație: 33
Triedrul mobil al lui Darboux: 35, 87
Triodă: 68, 267, 270—271, 276
Tritiu: 323, 416
Tromboză: 862, 904
Tropisme: 119, 702—705, 756
Triptofan: 432, 440, 617, 758
T.F.F.: 267—268, 271—273, 275, 279—280
Tubul: — catodic: 281—282
— lui Coolidge: 218
— lui Crookes: 13, 140
— electronic: 266—271, 273—276, 287, 299, 301—302, 305—306
— cu hiperfrecvențe: 286, 317, 319
— cu memorie: 283—284
— lui Newton: 173
— cu undă progresivă: 277—278, 284—285, 316
— de televiziune: 209 —210
Tuberculoză: 868—872, 896
Tunel (efect —): 299, 305
Turbioanele lui Descartes: 148, 185
Turbulență: 187—188
Turing (mașini —): 114—115
Turn-over: 780
Tuse convulsivă: 880, 891

Ultracentrifugare: 408, 833
Ultraconvergență: 59
Ultramicrometodă: 410—411
Ultramicroscop: 408, 672
Ultraviolete (radiații —): 203, 216—218, 224, 262, 265, 576, 578
Undă (e): — Alfvén: 315; — amortizate: 268; — coerente: 320—321; — de Broglie: 222; — de sarcină spațială: 316—317; — electromagnetice: vezi Electromagnetism; — elementare: 314—315; — întreținute: 268; — hertziene: 217—218, 267—268, 272—280, 294—297, 302—303, 305; — ionice: 315; — milimetrice: 319—320; — sferice: 150; — de spin: 247; — submilimetrice: 320—321; (propagarea —): 69, 165, 167, 261, 275
Univalență: 52, 60
Uniformizare: 61
Univers: 311, 591—593, 598, 605; — insule: 569—570; — neeuclidian: 171, 173—176, 179, 598; — newtonian: 14, 600; (expansiunea —): 102, 572—574, 592—593, 598—600; (vîrsta —): 179
Uraniu: 202, 331, 335, 416; vezi Fisiunea uraniului
Uranus (planeta): 531—532, 539
Urologie: 862—864
Utilitate (teoria —): 106

Vaccinare: 890—892
Valenţă chimică: 149
Valoare: 55, 56—57; — excepţională: 55—58; — excepţională a lui Borel: 56—57; — excepţională a lui Nevanlinna: 57; — excepţională a lui Picard: 56—57
Van Allen (centurile lui —): 311, 370, 590
Van der Waals (forţe de legătură —): 242, 279—280
Vanguard (proiectul —): 584, 585—588
Variabile (stele —): 559—564; — eruptive: 563—564; — cu perioadă lungă: 562—562
Varianţă: 103
Variaţie: — diurnă: 459—460; — a masei cu viteza: 167
Varietăţi: — abeliene: 43; — algebrice: 34—36, 41, 86—87; — analitice: 90; — analitice complexe: 36, 41; — kähleriene: 34—45; — topologice: 62
Varve: 745
Vegetaţie: — tropicală: 799; (clasificarea —): 797
Venus (planetă): 526, 530, 533, 540, 587, 603
Venusik (rachetă cosmică): 541
Verosimilitate: 98, 105
Vertebrate: 735; — inferioare: 740; (paleontologia —): 736—741
Verticală (deviaţii absolute de la —): 463; (deviaţii relative de la —): 457—458
Viaţă: 612, 634, 636—637; — ştiinţifică: 923—977
Viscometrie: 190
Viscozitate: 188, 314; (coeficient de —): 257
Virus, virusologie: 285, 633—638, 838—840, 864, 879, 880—881, 885, 889
Vitamină(e): 651, 756, 834, 844—849, 867, 901
Viteză de reacţie: 403
Viteaz (navă oceanografică): 679, 695
Viziune: 203—206, 210—211, 669
Volterra (ecuaţia lui —): 73
Volumetrie: 410
Von Neumann (algebrele lui —): 39
Vostok (satelit): 588

Wadjak (Omul din —): 750
Warburg (aparatul lui —): 624—625; (fermentul galben al lui —): 623, 847; (teoria lui —): 762—763
Weierstrass (punctul lui —): 56
Weiss (cîmpul molecular al lui —): 244—246; (teoria lui —): 248; vezi Domeniu, Magneton
Westford (proiectul —): 280
Wiedemann-Franz (legea lui —): 197, 263, 299
Wien (formula lui —): 142
Wolf (numărul lui —): 100, 538

Xantofilă: 439
Xilologie: 787

Young (orificiile lui —): 148, 285

Zeeman (efectul —): 140, 145, 220—221, 223, 244—245, 255, 262; (efectul — anormal): 220—221, 223—224; (nivel inferior —): 296
Zermelo (axioma lui —): 27
Zgomot: 111; — de fond: 270—271, 317; — termic: 271, 320; vezi Temperatură
Zirconiu: 202, 424
Zone: — Brillouin: 196, 301; — Van Allen (vezi Centuri —, şi Van Allen): 311, 370, 590
Zoogeografie: 701
Zoologie: 442, 672—707
Zoologie (sistematică): 676—677

Legendele planşelor

1. DAVID HILBERT (1862—1943). (Foto Deutsches Museum, München.)

2. ÉLIE CARTAN (1869—1951). (Foto Harcourt, Paris, pusă la dispoziţie de M. Henri Cartan.)

3. PRIMUL CALCULATOR ELECTRONIC (MARK I, 1942). Acest calculator, proiectat încă din 1938 de H. H. Aiken, a fost realizat cu ajutorul Companiei I.B.M. În 1942 el a fost instalat într-un laborator special la Universitatea Harvard. (Clişeu Colecţia Palais de la Découverte, Paris.)

4. UN CALCULATOR ELECTRONIC MODERN (I.B.M. 7094). Acest ansamblu electronic în întregime tranzistorizat permite rezolvarea foarte rapidă a numeroase probleme ştiinţifice, tehnice, economice şi bugetare. Viteza de acţionare internă este foarte mare: 250 000 adunări pe secundă etc. Ansamblul este înzestrat cu o memorie centrală cu ferite, cu 1 179 800 poziţii binare. (Clişeu I.B.M.)

5. 1. WILHELM CONRAD RÖNTGEN (1845—1923). (Foto Deutsches Museum, München.); 2. MAX PLANCK (1858—1947). (Foto Deutsches Museum, München.); 3. LORDUL RUTHERFORD (1871—1937). (Foto Keystone.); 4. JEAN PERRIN (1870—1942). (Foto pusă la dispoziţie de M. Francis Perrin.)

6. 1. LOUIS DE BROGLIE (n. 1892) în cabinetul său de lucru. (Foto Keystone.); 2. WERNER HEISENBERG. (n. 1901) (Foto Keystone.); 3. ENRICO FERMI (1901—1954) într-un laborator de fizică al Universităţii Illinois. (Clişeu U.S.I.S.)

7. 1. NIELS BOHR (1885—1962) CU FIUL SĂU AAGE BOHR, care i-a urmat la conducerea Institutului de la Belgdamsvej. (Clişeu Serviciul de Presă al Ministerului Afacerilor Externe al Danemarcii.); 2. ALBERT EINSTEIN (1879—1955) DISCUTÎND CU J. ROBERT OPPENHEIMER (n. 1904), care i-a urmat ca director la Institute of Advanced Studies din Princeton. (Clişeu U.S.I.S.)

8. VERIFICAREA EXPERIMENTALĂ A TEORIEI RELATIVITĂŢII cu ajutorul efectului Mössbauer, efectuată de G. A. Rebka jr. şi R. V. Pound, la Jefferson Physical Laboratory (Universitatea Harvard, 1960); 1. G. A. Rebka notînd rezultatele lîngă coloana de experienţă, înaltă de 22 m.; 2. R. V. Pound în partea superioară a coloanei. (Foto W. Toley, Universitatea Harvard, pusă la dispoziţie de I. B. Cohen.).

9. FOTOGRAFIA OFICIALĂ A CELUI DE-AL VII-LEA CONGRES DE FIZICĂ SOLVAY (Bruxelles, 22—29 octombrie, 1933). Majoritatea participanţilor la această reuniune a jucat un rol important în dezvoltarea fizicii. (Foto B. Couprié, Bruxelles, pusă la dispoziţie de E. Bauer.)

10. DOUĂ EXEMPLE DE STRUCTURI ALE CORPULUI SOLID, LA MICROSCOPUL ELECTRONIC. 1. Microcristale de caolinit de gresie de Nubia. (Clişeu A. Oberlin, pus la dispoziţie de J. Orcel.); 2. Dislocaţie elicoidală într-un aliaj de aluminiu-cupru (4%): mărire de 22 000 x. (Clişeu Laboratorul de optică electronică al C.N.R.S., Toulouse.)

11. OGLINDA CU DIAMETRUL DE 5 m, A MARELUI TELESCOP DE LA OBSERVATORUL MOUNT PALOMAR, în curs de polizare în Atelierele de optică de la Pasadena. (Foto Mount-Wilson și Palomar Observatories.)

12. EXEMPLE DE SPECTRE ATOMICE ȘI MOLECULARE: 1. Seria Balmer din spectrul de emisie al hidrogenului. (Clișeu Herzberg.); 2. Spectrul de absorbție al vaporilor de sodiu. (Clișeu Herzberg.); 3. Structura hiperfină a unei linii spectrale a praseodiului; 4. Efectul Zeeman al liniilor D_1 și D_2 ale sodiului: *a*) fără cîmp, *b*) cu cîmp. (Clișeu Landé.); 5. Descoperirea deuteriului: liniile 2 ale hidrogenului (H) și ale deuteriului (D). (Clișeu Urey.); 6. Spectrul benzilor de emisie ale azotului; 7. Spectrul Raman al HCL: linia Raman de rotație (R), liniile de rotație (barele verticale). (Clișeu Stoïchell) (documente puse la dispoziție de J. P. Mathieu.)

13. 1. LABORATORUL LUI PAUL LANGEVIN LA COLLÈGE DE FRANCE, PRIN 1910. Langevin este înconjurat de colaboratorii săi: E. Bauer, M. Moulin, M. de Broglie și L. Dunoyer. (Foto N. D., Paris.); 2. FIZICIANUL RUS. P. LEBEDEV (1866—1911) efectuînd măsurători de radiații. (Clișeu Academia de Științe a U.R.S.S.)

14. H. KAMERLINGH ONNES (1853—1926) ȘI COLABORATORII SĂI, ALĂTURI DE INSTALAȚIA DE LICHEFIAT HELIU DE LA LABORATORUL CRIOGENIC DIN LEYDA. Clișeu Rijksmuseum voor de Geschiedenis der Natuurwetenschappen, Leyda.)

15. VEDERE GENERALĂ A LABORATORULUI DE OPTICĂ ELECTRONICĂ A C.N.R.S. DIN TOULOUSE. Microscopul electronic cu înaltă tensiune se găsește în interiorul unei structuri sferice cu diametrul de 26 m. (Foto C.N.R.S.)

16. MICROSCOPUL ELECTRONIC CU TENSIUNE ÎNALTĂ (1,5 MV) DE LA LABORATORUL DE OPTICĂ ELECTRONICĂ AL C.N.R.S. DIN TOULOUSE. (Foto C.N.R.S.)

17. TELECOMUNICAȚIILE PRIN SATELIT. 1. Satelitul Telstar în curs de asamblare la Bell Tellephone Laboratories de la Hillside, New Jersey, S.U.A. (Clișeu U.S.I.S.); 2. Marea antenă receptoare a stației receptoare franceze de la Pleumeur-Bodou. (Clișeu C.N.E.T.)

18. INVENTATORII TRANZISTORULUI. WILLIAM SHOCKLEY, WALTER H. BRATTAIN ȘI JOHN BRATTAIN (de la stînga la dreapta) în cursul unei discuții la Bell Telephone Laboratories în 1948, în perioada inventării tranzistorului. (Foto J. Steinber, clișeu Bell Telephone Laboratories.)

19. 1. PIERRE ȘI MARIE CURIE în laboratorul lor de la Școala de fizică și chimie, în perioada descoperirii radiului. (Clișeu Institut du Radium, Paris.); 2. IRÈNE CURIE ȘI FRÉDÉRIC JOLIOT CURIE, în laboratorul lor de fizică de la Institut du Radium, din Paris, în 1935. (Clișeu Institut du Radium.)

20. 1. FOTOGRAFIA TRAIECTORIEI UNUI ELECTRON POZITIV DIN RADIAȚIA COSMICĂ, fotografie realizată cu o cameră Wilson (C.D. Anderson, 1932). (Foto Anderson, clișeu Institut du Radium.); 2. CREAREA UNEI PERECHI ELECTRON POZITIV-ELECTRON NEGATIV, PRIN MATERIALIZAREA UNUI FOTON EMIS DE ThC. Fotografie realizată în camera Wilson de I. Curie și F. Joliot în 1953. (Clișeu Institut du Radium.)

21. 1. UNUL DINTRE PRIMELE CICLOTROANE. Ciclotronul de 60 țoli al Universității din Berkeley (Lawrence Radiation Laboratory) în curs de construcție (1939). De la stînga la dreapta se observă L. W. Alvarez, W. D. Coolidge, W. Brobeck, D. Cooksey, E. M. McMillan și, în sfîrșit, Ernest O. Lawrence, inventatorul ciclotronului. (Foto Information Division Lawrence Radiation Laboratory, University of California, Berkeley.); 2. CAMERA CU BULE DE LA LAWRENCE RADIATION LABORATORY DIN BERKELEY; ea conține aproximativ 567 litri hidrogen lichid. (Clișeu U.S.I.S.)

22. VEDERE DE ANSAMBLU A LAWRENCE RADIATION LABORATORY DE LA UNIVERSITATEA DIN CALIFORNIA. Acest vast ansamblu de laboratoare este situat la Berkeley, la „Charter Hill“ lîngă terenul Universității. În centrul fotografiei se observă ciclotronul de 4,6 m, apoi bevatronul, construcția mare rotundă situată în vecinătate, clădirile laboratoarelor de fizică (mai jos de bevatron) și de chimie (în dreapta),

ciclotronul de 88 ţoli etc. (Foto Information Division, Lawrence Radiation Laboratory.)

23. SINCROTRONUL CU PROTONI DE LA C.E.R.N. (GENEVA). Acest accelerator de 28 GeV a fost construit lîngă Geneva de Centrul European de Cercetări Nucleare. În planşă este reprezentat ansamblul deflectorului. Fasciculul de particule ce ies din acceleratorul liniar (în fund, dreapta) ajunge în camera cu vid a sincrotonului la deflectorul electrostatic, situat în prim plan. (Foto C.E.R.N.)

24. PRODUCEREA UNEI PARTICULE „ANTICASCADĂ“ (ANTIPARTICULA XI NEGATIV). Antiprotonul (1) provenit de la acceleratorul de 28 GeV (sintrotronul de protoni şi aparatura asociată) pătrunde într-o cameră cu bule de 81 cm (construită de Centrul de studii nucleare de la Orsay şi de Laboratorul de fizică al Şcolii Politehnice). După o traiectorie de 20 cm, antiprotonul se ciocneşte (2) cu un nucleu de hidrogen (proton) şi se anihilează. Masa protonului, a antiprotonului şi energia antiprotonului se transformă în două particule grele care aparţin grupului hiperonilor xi: xi negativ (3) şi antiparticula sa, xi pozitiv (4). Acest clişeu a fost realizat în ianuarie 1962. (Foto C.E.R.N.)

25. SINCROFAZOTRONUL DE LA INSTITUTUL DE CERCETĂRI NUCLEARE DIN DUBNA (1956). (Clişeu, Academia de Ştiinţe a U.R.S.S.)

26. BEVATRONUL DE LA LAWRENCE RADIATION LABORATORY, BERKELEY, Documentul prezintă acest aparat după modernizarea sa, terminată în 1954, efectuată sub patronajul lui Atomic Energy Commission. (Foto Information Division, Lawrence Radiation Laboratory.)

27. OPERAŢIUNE METEOROLOGICĂ LA STAŢIA ANTARCTICĂ FRANCEZĂ CHARCOT. Această staţie a fost săpată în zăpada calotei glaciare continentale la 2400 m altitudine şi la 320 km de coasta Terre Adélie (69°22′S, 139°01′E) în cursul Anului Geofizic Internaţional (Foto Jacques Masson, clişeu Comitetul Naţional al Expediţiilor Polare, Paris).

28. 1. EXPEDIŢIA ARCTICĂ SOVIETICĂ DIN ANUL 1937. De la stînga la dreapta: E. T. Krenkel, J. P. Papanin, E. C. Feodorov şi O. J. Schmidt la Polul Nord (Clişeu Academia de Ştiinţe a U.R.S.S.); 2. O PARTE A STAŢIEI ANTARCTICE SOVIETICE MIRNÎI ÎN ANUL 1959. (Clişeu Academia de Ştiinţe a U.R.S.S.)

29. FOTOGRAFII LUATE DE SATELIŢII METEOROLOGICI TIROS, 1. Curenţi ciclonici deasupra Pacificului central: în dreapta, detalii ale structurii norilor văzute cu obiectivul cu deschidere mică; în stînga, benzi uriaşe de nori văzute cu obiectivul cu deschidere mare (Fotografii luate de Tiros I—1960). 2. Regiunea văii Nilului, a canalului Suez, a peninsulei Sinai şi a Mării Roşii, fotografiate de Tiros V, în cursul celei de-a 16-a revoluţie a sa (1962). Imagine transmisă la Centrul Point Magu. California. (Clişee U.S.I.S.)

30. RADIOCRISTALOGRAFIE ŞI STRUCTURA ATOMICĂ. 1. Diagrama de difracţie a radiaţiilor X pe blendă: una din primele diagrame obţinute de Laue, Friedrich şi Knipping (1912), planul 001; 2. Modelul structurii atomice a calcitei (Ch. Mauguin, Colecţia Palais de la Découverte, Paris); 3. Diagrama de difracţie a radiaţiilor X pe calcită, prin metoda Debye şi Scherrer. (Clişee Laboratorul de mineralogie al Muzeului Naţional de Istorie Naturală.)

31. VEDERE INTERIOARĂ A CUPOLEI MARELUI TELESCOP DE LA MOUNT-PALOMAR (OGLINDĂ CU DIAMETRUL DE 5 M.) Acest instrument destinat observaţiilor astronomice este cel mai mare din lume şi a intrat în funcţiune în 1948. (Clişeu U.S.I.S.)

32. MAREA NEBULOASĂ ORION. 1. Fotografie realizată la 27 noiembrie 1932 de Kerolyr la Observatorul din Forcalquier cu un telescop cu diametrul de 80 cm, aflat actualmente la Observatorul din Haute-Provence. (Clişeu Observatorul din Paris.); 2. Fotografie realizată cu telescopul cu diametrul de 2,54 m de la Mount-Wilson (Foto Mount Wilson şi Mount Palomar Observatories).

33. TELESCOPUL CU DIAMETRUL DE 1,93 M DE LA OBSERVATORUL DIN HAUTE-PROVENCE, intrat în funcţiune la 15 iulie 1958. (Clişeu C.N.R.S.).

34. TELESCOPUL SCHMIDT CU DIAMETRUL DE 1,20 M DE LA OBSERVATORUL MOUNT-PALOMAR. (Foto Mount-Wilson and Palomar Observatories).

35. OBSERVATORUL ŞI LABORATORUL DE FIZICĂ DE LA PIC-DU-MIDI (Hautes-Pyrénées, 2800 m altitudine). (Foto S. de Sazo, Agenţia Rapho).

36. FAŢA INVIZIBILĂ A LUNII. După fotografiile luate de racheta spaţială Lunik III, la 7 octombrie 1959 şi retransmise pe Pămînt prin radio. (Clişeu Academia de Ştiinţe a U.R.S.S.)

37. NEBULOASA CRAB (N.G.C. 1952, Messier I). Fotografie efectuată în infraroşu cu telescopul cu diametrul de 5 m de la Mount-Palomar. Această nebuloasă care reprezintă resturile supernovei din anul 1054, este una dintre radiosursele cele mai intense din Univers. (Clişeu Mount-Wilson and Palomar Observatories.)

38. OBSERVATORUL RADIOASTRONOMIC DE LA NANÇAY (Cher.). Oglinda mobilă a Marelui telescop, destinată studiului radiaţiei cu lungimea de undă de 21 cm, emisă de hidrogenul intergalactic. Vedere a părţii de vest. (Clişeu C.N.R.S.)

39. RADIOTELESCOPUL STAŢIEI EXPERIMENTALE DE LA JODRELL BANK. (Universitatea din Manchester), 1958; diametrul oglinzii: 75 m, greutatea: 2000 tone. Fotografia este luată din interiorul camerei de comandă în care se găseşte dr. J. C. Davis. (Clişeu Central Office of Information, Londra.)

40. RADIOTELESCOPUL DE LA PARKES (New South Wales, Australia). Acest aparat pus în funcţiune în 1962 are o oglindă cu diametrul de 64 m, cu dispunere azimutală, a cărei regiune centrală este acoperită cu tablă subţire. Camera de amplificare plasată în focar se observă pe planşă; la ea se poate ajunge cu ajutorul unui ascensor care circulă prin braţele suportului. Acest instrument care permite recepţionarea emisiilor radioelectrice pînă la lungimea de undă de 10 cm şi a cărui dirijare direcţională este foarte precisă, permite explorarea sistematică a emisferei sudice. (Foto Serviciul de Informaţii Australian).

41. VIRUSUL MOZAICULUI TUTUNULUI (V.M.T.) 1. Descoperirea cristalelor de V.M.T. (W. M. Stanley American Journal of Botany, vol. 24, p. 50—68, 1937); microscop optic, X 675; 2. Particulele virusului observate la microscopul electronic (X 80 000), după „umbrirea“ metalică (R. C. Williams şi R. W. G. Wyckoff, 1944). Particulele virale reprezentate sînt elementele cristalelor alungite ce apar pe primul clişeu; fiecare bastonaş, de 280 mμ lungime şi 15 mμ grosime, este format din mai multe sute de astfel de particule. (Clişee, Virus Laboratory, Berkeley, puse la dispoziţie de dr. R. C. Williams.)

42. BACTERII ŞI BACTERIOFAGI. 1. Bacilul tific şi bacteriofagii. Acest clişeu (microscop electronic, x 50 000) arată una din fazele lizării bacteriofage a bacteriei (Foto J. Giuntini şi E. Edlinger) (Clişeu Institutul Pasteur); 2. Bacilul *Salmonella enteriditis* şi bacteriofagii. (Foto Giuntini şi E. Barbu: x 36 000). (Clişeu Institutul Pasteur).

43. COELACANTUL. 1. La Institutul de cercetări ştiinţifice din Republica Malgaşă, la sosirea celui de-al treilea *Coelacant*, pescuit lîngă insula Grande Comore, la 25 septembrie 1954, J. Millot efectuează primele măsurători. (Foto Service général de l'Information de Madagascar); 2. Scheletul celui de-al 7-lea *Coelacant*, pescuit la 5 oct. 1954 la Anjouan (Comore). (Clişeu Laboratorul de anatomie comparată al Muzeului naţional de istorie naturală, Paris, pus la dispoziţie de J. Anthony.)

44. LABORATORUL SUBTERAN AL C.N.R.S. (Moulis, Ariège.) 1. Instalaţia de suprafaţă: vedere generală dinspre est (24 septembrie 1957); 2. Sala terariului. (Foto C.N.R.S.)

45. 1. BATISCAFUL F.N.R.S. III sosind în Japonia la bordul navei Atou Maru; 2. FAUNĂ SUBMARINĂ fotografiată din F.N.R.S. la adîncimea de 2 200 m (*Benthesaurus* şi *Haloperphyris*). (Foto Serviciul Cinematografic al Armatei.)

46. NOILE BATISCAFE. 1. BATISCAFUL „TRIESTE", construit sub conducerea lui J. Piccard pentru Marina Statelor Unite. (Clişeu U.S.I.S.); 2. BATISCAFUL ARCHIMEDE, construit de Marina Naţională Franceză şi echipat de C.N.R.S.: lansarea la apă la Toulon, 28 august, 1961. (Foto Serviciul Cinematografic al Armatei.)

47. CERCETĂRILE OCEANOGRAFICE ÎN U.R.S.S. 1. Nava oceanografică „Viteaz"; 2. Prof. T. S. Ras, şeful serviciului de ihtiologie, examinează un dinte fosil de rechin găsit la o adîncime de 5 000 m la sud de Insulele Hawaii. Alăturat se observă un maxilar de rechin contemporan (1961). (Clişee Academia de Ştiinţe a U.R.S.S.)

48. REZERVAŢII ZOOLOGICE ÎN AFRICA DE SUD. 1. Zebre de munte în Mountain National Park, lîngă Cradock în Karoo; 2. Turme de elani, specie foarte rară de antilopă, în Kalahari Gemsbok Park. (Clişee South African Information Service, Pretoria.)

49. 1. BOTANISTUL OLANDEZ HUGO DE VRIES (1848—1935), unul dintre autorii redescoperirii legilor lui Mendel. (Foto Rijksmuseum voor de Geschiedenis der Natuurwetenschappen, Leyda); 2. GENETICIANUL AMERICAN THOMAS HUNT MORGAN (1866—1945) examinînd o cultură de drosofile. (Clişeu U.S.I.S.)

50. OAMENII FOSILI. 1. Craniu de *Australopithecus africanus*; 2. Maxilar de *Maueranthrop*; 3. Maxilar de *Atlanthropus mauritanicus* (zăcămîntul din Ternifine); 4. Craniu de *Sinanthrop*. (Clişee Colecţia Muzeul Omului.)

51. DESCOPERIREA PEŞTERII DIN LASCAUX. Abatele Breuil la intrarea naturală a peşterii din Lascaux, împreună cu autorii acestei descoperiri. (Clişeu Larivière, Brive.)

52. ŢAPI PE MARELE PLAFON AL PEŞTERII DIN ROUFFIGNAC. (Clişeu L. R. Nougier.)

53. FRESCĂ RUPESTRĂ ÎN MUNŢII TASSILI. (Foto J. D. Lajoux-Rapho, extrasă din lucrarea *Tassili des Ajjer*, Nouvelles Editions du Chêne, Paris.)

54. IVAN V. MICIURIN ŞI N. I. VAVILOV ÎN 1932. (Clişeu Academia de Ştiinţe a U.R.S.S.)

55. REZERVAŢIE VEGETALĂ ÎN PARCUL NAŢIONAL DIN MUNŢII AMBRE (REPUBLICA MALGAŞĂ). Plantele cu frunze dantelate sînt *Pandanus*. (Clişeu A. Aubreville).

56. FITOTRONUL DIN PASADENA (Earhart Plant Research Laboratory California Institute of Technology.) 1. Cultură artificială de roşii cu diverse iluminări; 2. Comenzile sistemului electronic de reglare a condiţiilor climaterice. (Clişee U.S.I.S.)

57. POLEN ŞI SPORI CONTEMPORANI ŞI FOSILI. 1.2. Spori de muşchi, *Amblyodon dealbatus* (x 1500); 3. Grăunte de polen de *Scorzonera humilis* (x 1200); 4. Secţiune într-un grăunte de polen de *Hedychium coronarium* (în ultraviolet, x 3000) în care se observă mici rădăcini în intină; 5. Secţiune într-un grăunte de polen de *Zea mays* (la microscopul electronic: Rowley, 1960; linia neagră orizontală corespunde la 1 micron) în care se observă exina şi intina internă; 6. Secţiune într-un grăunte de polen de *Ranunculus arvensis* (x 1500, secţiunea cu grosimea de 0,5 μ) în care se observă spinulele exinei, fiecare dintre ele fiind susţinută de o rădăcină relativ groasă; 7. Un grăunte de polen fosil, *Tricolporites protrudens* (x 1500) găsit în sedimentele glaciare tîrzii din Suedia, provenite din depozite de la începutul terţiarului sau cretaceicului, distruse astăzi; 8. Exemplu de „copropalinologie": grăunţi de polen de *Artemisia* (centru), de *Campanula* (extrema stîngă) şi de *Thymus* (extrema dreaptă) în excremente de iepure (sudul Suediei, sept. 1960; x 700).
Clişee Laboratorul Palinologic, Stockholm-Solna).

58. 1. CLOROPLASTE DE *CHARA* (x 42 000). (Foto dr. K. Mühlethaler, Laboratorul de microscopie electronică, E. T. H., Zürich); 2. MODELUL MOLECULEI DE CLOROFILĂ. (Clişeu Information Division, Lawrence Radiation Laboratory, Berkeley).

59. LABORATORUL DE FOTOSINTEZĂ DE LA BERKELEY. 1. Recoltă de alge special cultivate pentru cercetări asupra fotosintezei; 2. Tuburi cu iluminare controlată automat, folosite la culturile artificiale de alge. (Clişeu Information Division, Lawrence Radiation Laboratory, Berkeley.)

60. 1. IVAN P. PAVLOV (1849—1936) ŞI COLABORATORII SĂI. (Clişeu Academia de Ştiinţe a U.R.S.S.); 2. SIR ALEXANDER FLEMING (1881—1955) ÎN LABORATORUL SĂU. (Clişeu British Council.)

61. CELULĂ LEUCEMICĂ UMANĂ (microscop electronic, x 16 000). (Foto Laboratorul dr. Bessis, Centrul Naţional de Transfuzii Sanguine, Paris).

62. CROMOZOMI UMANI. 1. CARIOTIPUL UNUI PACIENT FEMININ NORMAL. Cromozomii împerecheaţi sînt ordonaţi conform nomenclaturii internaţionale: 22 perechi nesexuale (autozomi) şi o pereche sexuală (gonozomi) XX; 2. CARIOTIPUL UNUI PACIENT MASCULIN MONGOLIAN. Se remarcă gonozomii XY, precum şi prezenţa unui cromozom 21 suplimentar (mongolism sau trizomie 21). Trizomia mongoliană a fost primul exemplu cunoscut de aberaţie cromozomială umană. (Clişee J. Lejeune, M. Gautier şi R. Turpin (C. R. Acad. des Sci., 26 Jan. 1959), puse la dispoziţie de R. Debré.)

63. INTERVENŢIE CHIRURGICALĂ ÎNTR-O CLINICĂ MODERNĂ (clinica prof. Gaudart d'Allaines). (Clişeu pus la dispoziţie de R. Debré).

64. VIRUSURI ŞI BACILI 1. Virusul herpesului provenit de la un pacient cu herpes cutanat acut. În această fotografie obţinută la microscopul electronic (x 230 000, coloraţie negativă cu acid fosfotungstic) se observă 5 particule sau virioni ai virusului herpetic. Este de subliniat aspectul lor general hexagonal corespunzător proiecţiei unui icosaedru. Membrana limitatoare (capsida) este prevăzută cu prelungiri proteinice (capsomeri) care acoperă toată suprafaţa virionului. Capsomerii sînt repartizaţi aproape simetric pe feţele icosaedrului iar numărul lor este dat de formula $10\ (n - 1)^2 + 2$, sau în acest caz (pentru $n = 5$), 162. (Clişeu prof. Lépine şi O. Croissant, Serviciul Virusurilor de la Institutul Pasteur); 2. Bacili antracomorfi (văzuţi la microscopul electronic cu tensiune înaltă de la Laboratorul de optică electronică al C.N.R.S. de la Toulouse. (Clişeu P. Dupouy); 3. Bacilul difteriei (*Corynebacterium diphteriae (mitis)*). (Clişeu P. Dupouy.)

Tabla de materii

PREFAŢĂ (de R. TATON) 5

NOUA FAŢĂ A ŞTIINŢEI (de P. AUGER) 9

Dezvoltarea ştiinţei. Extinderea şi topografia domeniilor ştiinţifice. Discontinuitate, structură şi informaţie

PARTEA ÎNTÎI

MATEMATICA

CAPITOLUL I

NUMERE ŞI MULŢIMI (de P. MONTEL) 23

A. TEORIA NUMERELOR 23

Numere prime. Ecuaţii diofantice. Numere algebrice sau transcendente

B. MULŢIMI 27

Măsura mulţimilor. Mulţimi de măsură *L* nulă. Mulţimi analitice

CAPITOLUL II

ALGEBRA ŞI TOPOLOGIA (de J. DIEUDONNÉ) 31

Tendinţele noii algebre. Algebrizarea topologiei. Topologia algebrică, geometria diferenţială şi geometria algebrică. Algebra topologică. Limbajul topologic în algebră. O răspîntie: grupurile lui Lie

CAPITOLUL III

TEORIA FUNCŢIILOR DE VARIABILE REALE (de A. DENJOY) 45

Aportul secolului al XIX-lea. Teoriile lui Baire. Teoriile lui Lebesgue. Studii conexe. Alte subiecte

CAPITOLUL IV

FUNCŢII DE VARIABILE COMPLEXE (de P. MONTEL) 52

Definiţii. Olomorfie. Puncte singulare. Funcţii întregi sau meromorfe. Familii normale. Reprezentarea funcţiilor analitice. Familii particulare de funcţii. Periodicitate. Funcţii multiforme. Funcţii de mai multe variabile

CAPITOLUL V

ECUAŢII DIFERENŢIALE ŞI ECUAŢII CU DERIVATE PARŢIALE (de M. JANET) 65

A. ECUAŢII DIFERENŢIALE 65
Teoria analitică. Variabile reale. Complemente. Intervenţia teoriei grupurilor

B. ECUAŢII CU DERIVATE PARŢIALE 70
Teoria analitică. Variabile reale. Potenţial şi tipul eliptic. Unde şi tipul hiperbolic. Tipul parabolic şi tipul mixt. Metode operaţionale. Distribuţii. Intervenţia topologiei

CAPITOLUL VI

ANALIZA FUNCŢIONALĂ ŞI ANALIZA GENERALĂ (de M. FRÉCHET) 78

A. ANALIZA FUNCŢIONALĂ 78

B. ANALIZA GENERALĂ 80
Număr de dimensiuni. Diferenţiala. Integrare

C. TEORIA DISTRIBUŢIILOR 82

CAPITOLUL VII

GEOMETRIA (de L. GODEAUX) 84
Geometria proiectivă. Geometria algebrică. Geometria infinitezimală şi geometria proiectiv-diferenţială. Geometriile lui Cartan. Topologia şi geometria diferenţială globală. Alte cercetări

CAPITOLUL VIII

CALCULUL PROBABILITĂŢILOR ŞI APLICAŢIILE SALE (de G. DARMOIS şi D. DUGUÉ) 92
Conducătorii şcolii probabiliste. Axiomatizarea calculului probabilităţilor. Evoluţie deterministă şi evoluţie aleatoare. Legături stochastice. Legile numerelor mari. Rolul legilor lui Laplace. Legile logaritmului iterat. Metode analitice noi. Derivate şi integrale stochastice. Metoda Monte Carlo. Teoria estimaţiei. Rezumate exhaustive. Limite de incertitudine. Maximul verosimilităţii. Testele ipotezelor statistice. Controlul calităţii. Revenire la procesele stochastice. Demografie generală stochastică. Mecanica statistică modernă. Ergodism. Mecanică aleatoare. Astronomia. Planificarea experienţelor. Informaţia măsurabilă. Informaţia furnizată de elemente în legătură stochastică. Rezultatul lui Schutzenberger. Logica probabilului. Originile teoriei deciziei.

CAPITOLUL IX

CIBERNETICA (de F. LE LIONNAIS) 108

A. TEORIILE INFORMAŢIEI ŞI TEORIA COMUNICAŢIILOR 109
Diferitele noţiuni de informaţie. Informaţie şi entropie. Teoria comunicaţiilor

B. AUTOMATIZAREA CALCULULUI ŞI A DEDUCŢIEI 112
Evoluţia maşinilor de calcul. Teoria maşinilor pentru tratarea informaţiei. Automatizarea jocurilor deductive. Interpretarea cibernetică a fenomenelor biologice

C. TEORIA ŞI TEHNICILE ADAPTABILITĂŢII 117
Problema originilor. Importanţa noţiunii de *feedback*. „Animale electronice". Rolul *feedback*-urilor în biologie. Homeostazie

D. TEORIA ŞI AUTOMATIZAREA SPIRITULUI DE FINEŢE 121
Recunoaşterea structurilor. Macrolingvistica. Traducerea şi documentarea automată. Teoria jocurilor strategice. Previziune. Decizie. Cercetare operaţională. Jocuri de întreprinderi. Inducţia automată. Instruirea inteligenţei

CAPITOLUL X

VIAŢA MATEMATICĂ ÎN SECOLUL AL XX-LEA (de J. DIEUDONNÉ) 129
Mijloace de comunicare. Deşteptarea şcolilor naţionale. Marile tendinţe. Şcoala matematică românească

PARTEA A DOUA

ŞTIINŢELE FIZICE

CAPITOLUL I

FIZICA ATOMICĂ ŞI CUANTICĂ CONTEMPORANĂ (de L. DE BROGLIE) 139
Situaţia fizicii pe la 1900. Triumful atomismului şi apariţia cuantelor (1900—1912). Teoria lui Bohr şi dezvoltările ei (1913—1923). Mecanica ondulatorie şi prelungirile sale (1923—1939). Misterul particulelor microfizicii

CAPITOLUL II

RELATIVITATEA (de M.-A. TONNELAT) 155

A. RELATIVITATEA RESTRÎNSĂ 155
1. *Relativitatea înainte de 1905* 155
Sisteme de referinţă privilegiate şi transformarea Galilei în cinematica clasică. Principiul relativităţii în dinamica clasică. Principiul relativităţii în electrodinamica clasică. Interpretarea euristică a lui Lorentz-Poincaré. Electromagnetismul şi principiul relativităţii restrînse. Transformarea Lorentz şi principiul relativităţii
2. *Principiul relativităţii restrînse* (Einstein, 1905)........................ 160
Albert Einstein şi fizica la începuturile secolului al XX-lea. Postulatul fundamental al lui Einstein. Noţiunea de simultaneitate la distanţă. Critica noţiunilor de spaţiu şi de timp. Contracţia lungimilor. Dilatarea duratelor. Cinematica relativistă. „Paradoxurile" relativităţii restrînse. Construirea unei dinamici relativiste. Echivalenţa masă-energie
3. *Importanţa şi aplicaţiile relativităţii restrînse* 167
Încetinirea ceasurilor. Viaţa medie a mezonilor. Traiectoriile particulelor într-un cîmp electromagnetic. Legile relativiste ale ciocnirii elastice. Echivalenţa dintre masă şi energie

B. RELATIVITATEA GENERALĂ 170
1. *Principiul relativităţii generale* 170
Limitele principiului relativităţii restrînse. Forţele de inerţie şi introducerea unui univers neeuclidian

2. *Principiul de echivalență* 172
Forțe reale și forțe fictive. Echivalența între forțele de inerție și forțele de gravitație

3. *Relativitatea generală. Teoria neeuclidiană a cîmpului de gravitație* 173
Forțele de gravitație și introducerea unui univers neeuclidian. Rolul principiului de echivalență

4. *Legea gravitațională a lui Einstein* 175
Legea newtoniană a atracției. Legea lui Einstein, condiție structurală a unui spațiu Riemann

5. *Verificările legii lui Einstein* 177
Cîmpul gravitațional creat de un corp cu simetrie sferică. Avansul periheliului planetei Mercur. Deviația radiațiilor luminoase într-un cîmp gravitațional. Deplasarea spre roșu a liniilor spectrale într-un cîmp gravitațional. Domeniul extragalactic. Domeniul sistemului solar și al stelelor apropiate. Măsurătorile de deplasări în domeniul terestru. Maserii. Efectul Mössbaeur. Teorii unitare și teorii nedualiste

CAPITOLUL III

MECANICA GENERALĂ (de P. COSTABEL) 184
Poincaré și mecanica la scară umană. Dezvoltarea dinamicii clasice. Mecanica mediilor continue. Cercetările recente asupra axiomatizării mecanicii clasice. Concluzii

CAPITOLUL IV

FIZICA SOLIDULUI (de A. GUINIER) 192
Structura atomică a solidului. Proprietățile termice ale cristalelor. Proprietățile electrice ale solidelor. Proprietățile magnetice ale solidelor. Proprietățile optice ale solidelor. Proprietățile mecanice ale solidelor

CAPITOLUL V

OPTICA LUMINII VIZIBILE (de V. RONCHI) 203
O recapitulare a evoluției anterioare. Structura opticii la începutul secolului al XX-lea. Crizele opticii. Optică, fotografie și fotoelectricitate. Optica vederii. Noua definiție a noțiunii de imagine. Optica energetică. Noua definiție a puterii de rezoluție. Dezvoltarea fiziologiei ochiului. Evoluția opticii psihologice. Progrese în domeniul ochelarilor. Reorganizarea fotometriei și colorimetriei. Noua optică tehnică. Sticla optică și straturile subțiri. Trecere în revistă a principalelor aplicații ale opticii

CAPITOLUL VI

SPECTROSCOPIA (de J.-P. MATHIEU) 217
Domeniul radiațiilor electromagnetice și studiul său. Fotonul. Începuturile spectroscopiei atomice. Dezvoltarea vechii teorii a cuantelor. Mecanicile cuantice. Mecanica cuantică și cauzalitatea. Spectrele atomilor cu mai mulți electroni. Spectroscopia moleculară. Cuantificarea radiației. Statisticile cuantice. Aplicațiile spectroscopiei

CAPITOLUL VII

TERMODINAMICA (de G. ALLARD) 228

A. CONSERVAREA ENERGIEI 228
Definiţia lui Jean Perrin. Definiţia lui Max Born

B. PRINCIPIUL LUI CARNOT 229
Activitatea

C. NUMĂRUL LUI AVOGADRO 230
Mişcarea browniană. Activitatea mişcării browniene. Fluctuaţiile. Alte determinări ale numărului lui Avogadro

D. TERMODINAMICA STATISTICĂ 233
Temperaturile foarte joase. Tehnica presiunilor înalte. Producerea temperaturilor înalte. Electroliţii tari. Statisticile cuantice. Căldura specifică a gazelor. Orto- şi parahidrogenul. Căldura specifică a solidelor

E. ENERGIA RADIANTĂ 237

CAPITOLUL VIII

MAGNETISMUL (de E. BAUER şi A. HERPIN) 239

Teza lui Pierre Curie. Teoria lui Langevin. Cîmpul nuclear al lui Pierre Weiss. Magnetizarea spontană. Căldura de demagnetizare şi apropierea de zero absolut. Punctul Curie, tranziţiile de speţa a doua. Magnetonul. Teoria cuantică. Cuantificarea spaţiului. Spinul electronic şi momentul său magnetic. Efecte giromagnetice. Dezvoltarea teoriei cuantice a magnetismului. Interpretarea dată de Heisenberg feromagnetismului. Undele de spin. Pereţii lui Bloch. Magnetizarea tehnică. Antiferomagnetismul. Ferimagnetismul. Relaxarea paramagnetică. Rezonanţa electronică. Magnetismul nuclear

CAPITOLUL IX

ELECTRICITATEA, ELECTRONICA ŞI RADIOELECTRICITATEA (de P. MARZIN şi J. LE MÉZEC) 254

A. DESCOPERIREA ELECTRONULUI 254
Identificarea electronului ca particulă elementară. Măsurarea sarcinii electronului. Interpretările masei electronului. Electronica şi teoria relativităţii

B. TEORIA ELECTRONICĂ A MATERIEI LA ÎNCEPUTUL SECOLULUI AL XX-LEA 259
Deplasarea electricităţii în gaze. Dielectricii. Proprietăţile electrice ale metalelor. Emisia termoionică. Emisia secundară şi efectul fotoelectric. Ionizarea.

C. INVENTAREA TUBURILOR ELECTRONICE ŞI AVÎNTUL RADIOELECTRICITĂŢII 266
Dioda termoionică. Inventarea triodei. T.F.F. înainte de tuburile cu vid. Folosirea tuburilor cu vid. Teoria circuitelor electrice. Zgomotul în amplificatoare şi receptoare. Propagarea undelor radioelectrice în jurul Pămîntului. Descoperirea ionosferei. Paraziţi atmosferici. Radioastronomia

D. MICROUNDELE 273
Optica hertziană înaintea anului 1900. Ghidurile de unde. Triodele și clistroanele. Tuburile cu undă progresivă. Magnetronul. Inventarea radarului. Fasciculele hertziene

E. OPTICA ELECTRONICĂ ȘI APLICAȚIILE SALE 281
Osciloscopul catodic. Zworîkin și inventarea tuburilor de televiziune. Fotomultiplicatoarele și amplificatoarele de strălucire. Tuburile de memorie. Dezvoltarea opticii electronice. Microscopul electronic. Difracția electronilor și optica electronică fizică. Aplicațiile opticii electronice în fizica nucleară

F. DE LA PLASMĂ LA DIELECTRICI 286
Teoria gazelor ionizate. Electroliții. Progresele teoriei dielectricilor

G. SPECTROSCOPIA HERTZIANĂ ȘI APLICAȚIILE SALE 294
Spectroscopia hertziană. Ceasurile atomice. Amplificarea semnalelor slabe cu ajutorul maserilor

H. TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN SOLIDE 298
Teoria electronilor în metale, după Sommerfeld. Parcursul liber mijlociu al electronilor în metale. Teoria benzilor: izolatori și semiconductoare. Redresoarele cu semiconductoare. Tranzistoarele. Semiconductoarele în domeniul microundelor. Succesele și limitele teoriei clasice a electronilor în corpurile solide. Supraconductibilitatea

I. REÎNNOIREA FIZICII PLASMEI 310
Magnetohidrodinamica. Teoria microscopică a plasmei. Undele în plasmă. Radiația plasmei. Undele în fasciculele de electroni. Tuburile pentru microunde și plasma. Plasma în solide

J. TRECEREA DE LA UNDELE RADIOELECTRICE LA UNDELE LUMINOASE.... 319
Producerea undelor submilimetrice. Generatoarele relativiste. Laserii

K. ENERGIA ELECTRICĂ ȘI CERCETAREA ȘTIINȚIFICĂ 322
Metodele clasice de producere a electricității. Electricitatea de origine nucleară. Noi metode de producere a energiei electrice

CAPITOLUL X

RADIOACTIVITATEA ȘI FIZICA NUCLEARĂ 328

A. DE LA DESCOPERIREA RADIAȚIILOR X LA CEA A NEUTRONULUI (1895—1930) (de J. TEILLAC) 328
Descoperirea radiațiilor X. Descoperirea radioactivității. Radioelementele: poloniul și radiul. Dezvoltarea cercetărilor de radioactivitate. Radiațiile. Primele metode de detectare. Evoluția substanțelor radioactive. Familiile radioactive. Efectele biologice ale radiațiilor. Descoperirea nucleului. Izotopii. Transmutațiile radioactive (1919). Radioactivitățile β și α.

B. RADIOACTIVITATEA ȘI FIZICA NUCLEARĂ ÎNTRE 1930 ȘI 1940 (de M. LANGEVIN) 339
Descoperirea neutronului. Electronul pozitiv. Radioactivitatea artificială. Fisiunea uraniului. Reacțiile de fisiune în lanț și energia nucleară

C. RADIOACTIVITATEA ŞI MODELELE NUCLEARE (de P. RADVANYI şi R. NATAF) 348
Diferitele forme de radioactivitate şi sistematica nucleelor atomice. Primele modele nucleare: modele atomice, „picătura de lichid“, modelul cu particule α. Numerele „magice“ şi modelul în pături cu interacţie spin-orbită. Modelul „unificat“ al lui Bohr-Mottelson

D. REACŢIILE NUCLEARE (de P. RADVANYI) 356
Primele acceleratoare de particule. Aspecte generale ale reacţiilor nucleare. Diverse tipuri de reacţii nucleare. Modele de reacţii nucleare. Cîteva tipuri speciale de reacţii nucleare. Dezvoltarea marilor acceleratoare

E. RADIAŢIILE COSMICE ŞI PARTICULELE ELEMENTARE (de L. JAUNEAU) 365
Prima explorare a radiaţiei cosmice. Radiaţia cosmică primară. „De la mezonul μ la mezonul π“ sau de la radiaţiile cosmice la acceleratoarele de particule. Progrese în metodele experimentale. Fauna particulelor stranii. Antiparticulele. Structura nucleonilor

F. INTERACŢIILE ELEMENTARE. FORŢELE NUCLEARE (de R. NATAF) 380
Existenţa fotonilor. Efectul fotoelectric şi efectul Compton. Cîmpul electromagnetic cuantificat. Teoria lui Dirac a electronului şi pozitronului. Teoria cuantică generală a cîmpurilor. Forţele nucleare. Interacţiile tari. Interacţiile slabe. Dezintegrarea β. Teorema *PCT*. Invarianţa *P* şi *C* a interacţiilor electromagnetice şi tari. Alte interacţii slabe. Leptonii. Concluzii asupra interacţiilor şi teoriei cîmpurilor

CAPITOLUL XI

CHIMIA (de A. IHDE) 394

A. SITUAŢIA CHIMIEI LA 1900 394

B. RADIOACTIVITATEA ŞI IMPLICAŢIILE SALE CHIMICE 395

1. *De la elementele radioactive la izotopi* 395
Radioactivitatea şi descoperirea izotopilor. Prepararea şi folosirea izotopilor

2. *Structura atomului* 397
Evidenţa structurii atomice. Numărul atomic. Teoria lui Bohr. Legătura chimică

C. CHIMIA FIZICĂ 401

1. *Originea şi primele realizări* 401

2. *Termodinamica chimică* 401
Primele aplicaţii. A treia lege a termodinamicii. Influenţa punctului de vedere termodinamic

3. *Cinetica chimică* 403
Primele ipoteze. Ipoteza „radiaţiei“. Reacţii în lanţ

4. *Teoria soluţiilor* 405
Teoria lui Arrhenius. Teoria Debye-Hückel

5. *Teoria acido-bazică* 405
Concepţia clasică. Teoria lui Brønsted. Teoria lui Lewis

6. *Chimia suprafeţelor (coloizii)* 408
Orientarea cercetărilor. Noi aparate. Adsorbţia pe corpuri solide

D. CHIMIA ANALITICĂ 409
1. *Tendinţe generale* 409
Situaţia chimiei analitice în 1900. Influenţa chimiei fizice
2. *Microanaliza* 410
3. *Metode instrumentale* 411
Tendinţe generale. Polarografia. Metode spectrofotometrice. Spectroscopia în infraroşu. Difracţia radiaţiilor X şi a electronilor. Spectrometria de masă. Rezonanţa magnetică nucleară. Rezonanţa electronică
4. *Cromatografia* 413
Cromatografia de adsorbţie. Analiza frontală şi cromatografia prin eluţie fracţionată. Cromatografia de repartiţie. Cromatografia în fază de vapori
5. *Izotopii în chimia analitică* 415
Utilizarea lor în analiză. Metode de datare
E. CHIMIA ANORGANICĂ 416
1. *Avîntul chimiei anorganice* 416
2. *Probleme de structură şi de legătură chimică* 417
Complecşii lui Werner. Aportul teoriei atomice. Legături speciale. Starea solidă. Starea metalică
3. *Completarea şi extinderea tabelului periodic* 420
Golurile tabelului periodic. Descoperirea elementelor necunoscute. Elementele transuranice
4. *Domenii speciale de cercetare* 422
Elementele pămînturilor rare. Progrese în cunoaşterea şi utilizarea metalelor. Noi metaloizi comerciali. Hidruri de bor şi de siliciu. Siliconii. Compuşii fluorului
F. CHIMIA ORGANICĂ 426
1. *Tendinţele generale ale secolului al XX-lea* 426
2. *Progresele sintezei* 427
Reactivul lui Grignard. Reducerea. Condensarea Diels-Alder. Succese în realizarea sintezelor la jumătatea secolului
3. *Dezvoltări teoretice* 429
Legătura electronică. Radicali liberi. Stereochimia. Analize conformaţionale
4. *Produşi naturali* 432
Glucidele. Grăsimi şi ceruri. Compuşii azotaţi. Steroizii
5. *Avîntul medicamentelor organice* 433
Derivaţii arsenului. Sulfamidele. Antipaludice. Antibiotice. Medicamentele hormonale
G. INDUSTRIA CHIMICĂ ORGANICĂ 436
Produse de polimerizare. Produsele chimice agricole
H. BIOCHIMIA 438
1. *Situaţia cunoştinţelor în 1900* 438
2. *Cunoştinţe noi asupra nutriţiei* 438
Recunoaşterea bolilor de carenţă. Vitamina A şi carotinoidele. Minerale esenţiale. Proteine şi aminoacizi esenţiali

3. *Studii asupra metabolismului intermediar* 440
Metabolismul grăsimilor. Metabolismul azotului

I. CONCLUZII 442

PARTEA A TREIA

ȘTIINȚELE DESPRE PĂMÎNT ȘI UNIVERS

CAPITOLUL I

GEODEZIA ȘI GEOFIZICA (de P. TARDI) 455

A. GEODEZIA ȘI GRAVIMETRIA 455
Metoda arcurilor de meridian. Metoda ariilor. Deviațiile relative ale verticalei. Ipotezele izostatice. Elipsoidul internațional de referință. Progresele considerabile ale gravimetriei. Măsurători relative ale gravitației. Determinări gravimetrice marine. Gravimetrele de interpolare. Anomaliile gravitației. Reducerea valorilor observate ale gravitației. Anomaliile gravitației în geologie și geofizică. Anomaliile gravitației în geodezie. Problema fundamentală a geodeziei contemporane. Noua definiție a altitudinilor

B. SEISMOLOGIA 464
Diferite tipuri de seismografe. Diferite trenuri de unde. Interiorul Pămîntului. Ipoteza lui Ramsey

C. GEOMAGNETISMUL 467
Studiul cîmpului mediu. Studiul cîmpului suplimentar. Instrumente pentru măsurători magnetice

D. METEOROLOGIA. AERONOMIA 469

E. OCEANOGRAFIA FIZICĂ 470

F. COOPERAREA INTERNAȚIONALĂ 471

CAPITOLUL II

ȘTIINȚELE MINERALOGICE (de J. ORCEL) 474

A. CRISTALOGRAFIA GEOMETRICĂ 474
Difracția radiațiilor X în cristale. Radiocristalografia. Structurile corpurilor „amorfe“ sticloase și lichide. Stările mezomorfe. Structuri cristaline complexe. Cristale mixte; soluții solide

B. CRISTALOGRAFIA FIZICĂ 479
Creșterea și descreșterea cristalelor. Modificarea faciesului. Defecte cristaline. Starea metamictică. Proprietățile optice ale mineralelor. Luminescența. Culoarea mineralelor. Efectul fotoelectric și semiconductoarele. Alte proprietăți fizice. Duritatea

C. CRISTALOCHIMIA 486
Raze atomice; raze ionice. Legăturile atomice în cristale. Izomorfism și polimorfism. Analiza chimică a mineralelor. Analiza termică. Analiza imediată

D. ASOCIAŢIILE MINERALE ÎN NATURĂ 490
Definirea şi clasificarea speciilor minerale. Parageneze şi clasificări paragenetice. Mineralele radioactive. Petrografia. Structurologia. Metamorfismul; rocile magmatice şi petrogeneza profundă. Studiul zăcămintelor metalifere. Petrografia rocilor sedimentare

E. GEOCHIMIA ŞI COSMOCHIMIA 497
Meteoriţi, tectite şi cosmochimie

F. CĂILE EXPERIMENTALE ÎN MINERALOGIE 499
Concluzie

CAPITOLUL III

GEOLOGIA (de R. FURON) 501
Noile mijloace de cercetare. Forajele de mare adîncime. Observaţia aeriană. Geofizica. Geochimia. Clasificarea rocilor. Rocile eruptive. Rocile metamorfice. Rocile sedimentare. Paleontologia şi stratigrafia. Geocronologia şi radioactivitatea. Tectonica. Deriva continentelor. Curenţii de convecţie. Metamorfismul generator de cutări. Paleogeografia şi biogeografia. Harta geologică a globului şi Dicţionarul stratigrafic internaţional. Viaţa Pămîntului. Rolul geologiei în economia modernă. Sensul geologiei contemporane

CAPITOLUL IV

ASTRONOMIA 518

A. INTRODUCERE (de A. DANJON) 518

B. TELESCOAPE ŞI OBSERVATOARE (de CH. FEHRENBACH) 520

C. RECEPTOARELE (de A. LALLEMAND) 523

D. ASTRONOMIA FUNDAMENTALĂ ŞI MECANICĂ CEREASCĂ (de J. LÉVY) 525

1. *Astronomie fundamentală* 525
Constantele fundamentale. Cataloagele fundamentale. Cataloagele de poziţii şi sistemele de referinţă

2. *Pămîntul şi timpul* 528
Instrumentele de observaţie; conservarea timpului. Mişcarea polului. Timpul şi longitudinile. Viteza de rotaţie a Pămîntului. Timpul efemeridelor

3. *Mecanica cerească* 531
Descoperiri. Cercetări teoretice. Teoria relativităţii. Teoria Lunii şi a planetelor

E. SOARELE, PLANETELE, LUNA (de J. RÖSCH) 534

1. *Soarele* 534
Soarele, stea medie. Soarele, sursă apropiată. Relaţii între fenomenele solare şi cele terestre

2. *Sistemul solar* 539
Inventariere şi dimensiuni. Fizica planetelor

3. *Luna* 542

F. SPECTROSCOPIA (de CH. FEHRENBACH) 543
Clasificări spectrale. Diagrama Hertzsprung-Russell. Evoluţia stelelor. „Liniile nebulium“-ului

G. FOTOMETRIA ŞI COLORIMETRIA (de J. DUFAY).......................... 548
1. *Fotometria stelară* 548
Metodele vizuale. Metodele fotografice. Metodele fotoelectrice
2. *Colorimetria* 553
3. *Măsurători energetice* 555
4. *Fotometria aştrilor nepunctiformi* 555

H. STELELE DUBLE CU ECLIPSĂ (J. DUFAY)................................ 557

I. STELELE VARIABILE (de J. H. BIGAY)................................. 559
Cefeidele. Variabilele cu perioadă lungă. Variabilele eruptive. Novele. Supernovele

J. GALAXIA. MATERIA INTERSTELARĂ (de CH. FEHRENBACH) 565
Nebuloasele obscure ale galaxiei. Mediul interstelar

K. NEBULOASELE EXTRAGALACTICE (de CH. FEHRENBACH) 569
Universurile-insule. Expansiunea Universului

L. ASTROFIZICA TEORETICĂ (de J. C. PECKER)............................ 574
1. *Descrierea fizică a stelelor*................................... 574
Teoria sferelor gazoase. Echilibrul convectiv (1860—1910). Echilibrul radiativ. Cercetările lui K. Schwarzschild (1900—1910). Probleme clasice ale transferului (1920—1940). Formarea spectrelor de linii (1920—1950)
2. *Probleme evolutive* 578
Materia interstelară. Nebuloasele planetare. Atmosferele transparente. Dinamica sistemelor stelare. Probleme ale evoluţiei stelare. Ipoteze cosmogonice. Sursele de energie. Structura internă şi procesele evolutive. Diagrama H-R. Stele tinere. Reziduuri stelare. Ipoteze cosmogonice: originea planetelor
3. *Tendinţe ale noii astrofizici*.................................. 582
Relaţii Soare-Pămînt; fenomene netermice. Teoria atmosferelor. „Noua astrofizică“ (Fenomene convective. Intervenţia neomogenităţilor. Abateri de la echilibrul termodinamic local. Fenomene electromagnetice şi netermice)

M. SATELIŢII ARTIFICIALI (de P. MULLER)............................... 584
1. *Începuturile astronauticii* 584
Sateliţii şi A.G.I. Primii sateliţi. Începuturile americane
2. *Evoluţia satelitului* 586
Controlul orbitei. Comunicarea cu solul. Recuperarea capsulelor sau a sateliţilor. Sateliţi specializaţi. Rezultatele

N. COSMOLOGIA ŞI COSMOGONIA (de P. COUDERC).......................... 591
Cosmogonia sistemului solar. Obiecţii aduse teoriilor clasice. Cosmologia la scară mare. Galaxia noastră. Familia galaxiilor populează spaţiul. Deplasarea spectrului galaxiilor şi constanta lui Hubble. Problema cosmologică. Soluţia lui Einstein. Universul în expansiune

O. RADIOASTRONOMIA (de J. F. DENISSE) 600
1. *Începuturile radioastronomiei* 600
Precursorii. Pionierii. Spiritele subtile
2. *Dezvoltarea echipamentului* 602
3. *Evoluția marilor descoperiri* 603
Radioastronomia-radar și meteorii. Planetele. Soarele. Supernovele. Linia de 21 cm. Haloul galactic. Radiosursele extragalactice Pulsarii, stelele neutronice. Sursele de radiații X. Quasarii. Radiația remanentă de 3°K

PARTEA A PATRA

ŞTIINŢELE VIEŢII

INTRODUCERE (de R. COURRIER) 611

CAPITOLUL I

VIAȚA ELEMENTARĂ (de R. KEHL) 613
A. CELULA 613
Noile direcții ale cercetării. Nucleul și citoplasma. Organizarea fizico-chimică și chimică a materiei vii. Principalii constituenți ai materiei vii. Arhitectura compușilor organici. Fiziologia celulară. Enzimele. Metabolismul. Anabolismul. Acțiunile fizice. Moartea celulară
B. CULTURA ȚESUTURILOR 629
C. TRANSMITEREA VIEȚII 631
Mitoza. Autoreproducerea organitelor celulare
D. FORMELE INFRACELULARE ALE VIEȚII 632
1. *Microbii* 632
2. *Virusurile și viața elementară* 633
Proprietățile și clasificarea virusurilor. Virusurile și problema vieții

CAPITOLUL II

CÎTEVA MARI PROBLEME ALE BIOLOGIEI ANIMALE (de R. KEHL) 638
A. REPRODUCERE ȘI EMBRIOLOGIE 638
Celulele sexuale. Fecundarea. Aportul partenogenezei experimentale. Embriologia. Teratogeneza experimentală.
B. DIFERENȚIERI SOMATICE 645
Țesutul conjunctiv. Țesutul osos. Celulele conjunctive. Hematiile. Grupele sanguine și factorul Rhesus. Leucocitele. Plasma sanguină. Coagularea sîngelui
C. METABOLISME ȘI NUTRIȚIE 651
Metabolismele. Nutriția. Fiziologia digestiei. Secreția urinară. Fiziologia respirației. Fiziologia circulației. Structura și fiziologia musculară
D. COORDONĂRI ORGANICE 654
1. *Coordonări neurovegetative* 655

2. *Coordonări endocrine* 656
Începuturile endocrinologiei. Biochimie hormonală. Biogeneză hormonală. Acţiuni hormonale. Coordonări endocrine. Apariţia endocrinologiei sexuale a vertebratelor. Primele succese. Aportul biochimiei. Avîntul endocrinologiei sexuale. Determinismul sexului la embrion

E. APĂRAREA ORGANISMULUI 663
Imunitatea. Problema grefei la animale

F. FIZIOLOGIA NERVOASĂ ŞI SENZORIALĂ 666
Histologia şi fiziologia nervoasă. Centrii nervoşi. Fiziologia senzorială. Reflexele. Reflexele condiţionate. Biocibernetica şi neurofiziologia. Biologia şi psihologia

CAPITOLUL III

ZOOLOGIA (de A. TÉTRY) 672

A. METODELE ŞI ORGANIZAREA CERCETĂRII 672
Microscopia şi metodele asociate. Cinematografia. Micromanipularea. Metode fizice şi biochimice de analiză. Cadrul efortului colectiv

B. CONCEPŢII NOI ÎN ZOOLOGIE 675
Clasificările zoologice. Arborii genealogici

C. INVENTARUL FAUNISTIC 677
Vertebrate. Nevertebrate. Specialiştii. Paleontologia nevertebratelor

D. PROTISTOLOGIA 680
Taxonomie. Citologie şi sexualitate. Ecologie şi etologie. Simbioza flagelate-termite.

E. PARAZITISMUL ŞI PARAZITOLOGIA 682
Protozoarele. Metazoarele. Acţiunea parazitului asupra gazdei. Comensalism şi simbioză

F. ENDOCRINOLOGIA NEVERTEBRATELOR 685

G. PROBLEMA REPRODUCERII LA NEVERTEBRATE 686
1. *Reproducerea* 687
Soma şi germenul. Caractere sexuale secundare. Partenogeneza. Intersexualitatea. Ginandromorfismul. Reproducerea axexuată
2. *Embriologia* 690

H. ECOLOGIA 692
Metode. Biometrie. Avîntul oceanografiei biologice. Explorări submarine. Planctonul. Limnologia. Fauna interstiţială. Fauna cavernicolă. Laboratoarele subterane. Protecţia naturii. Zoogeografia

I. ETOLOGIA 702
Tropisme. Instinctul. Fenomene „sociale". Teritoriul. Insecte „sociale"

CAPITOLUL IV

GENETICA ŞI EVOLUŢIA (de A. TÉTRY) 708

A. GENETICA 708

1. *Genetica formală* 709

Ereditatea legată de cromozomul sexual X. Transmiterea înlănţuită a caracterelor *(linkage)*. Teoria cromozomică a eredităţii. Dovezi ale localizării cromozomice. Dovezi ale dispunerii liniare a genelor pe cromozomi. Teoria *crossing-over*-ului

2. *Genetica fiziologică* 712

Diverse tipuri de gene. Intensitatea şi specificitatea genei. Fenogenetica. Noţiunea de dominanţă. Efectul de poziţie. Modul de acţiune a genelor. Genetica microorganismelor. Ereditatea necromozomială

3. *Genetica evolutivă.* 716

Mutaţii genice. Mutaţii cromozomice. Valoarea evolutivă a mutaţiilor

4. *Genetica umană* 719

B. EVOLUŢIA 722

Evoluţia. Dovezile şi modalităţile ei. Teoriile explicative ale evoluţiei

CAPITOLUL V

ANATOMIA COMPARATĂ ŞI PALEONTOLOGIA VERTEBRATELOR (de J. PIVETEAU) 735

A. ANATOMIA COMPARATĂ 735

B. AVÎNTUL PALEONTOLOGIEI VERTEBRATELOR 736

Franţa. Elveţia. R.F. Germania şi R.D.G. Belgia. Anglia. U.R.S.S. America

C. TENDINŢE ACTUALE ALE PALEONTOLOGIEI VERTEBRATELOR 739

Săpături. Rezultate mai importante

CAPITOLUL VI

PREISTORIA (de R. FURON) 743

Fenomene glaciare şi periglaciare. Cronologia. Terase marine şi fluviatile. Depozitele din peşteri. Studiul florei. Studiul faunei. Oreopitecul. Oamenii fosili. Culturile litice. Preistoria în Asia. Preistoria în Africa. Preistoria în America. Dezvoltarea artei şi gîndirii

CAPITOLUL VII

FIZIOLOGIA VEGETALĂ (de J. F. LEROY) 755

A. CREŞTERE ŞI DEZVOLTARE: AUXINELE 755

Determinismul hormonal al tropismelor. Acidul indol-acetic şi proprietăţile lui fiziologice. Mecanisme auxinice. Fotoperiodism. Iarovizare. Dezvoltarea fructului. Partenocarpia. Noi auxine sintetice şi hormoni

B. TEORIA RESPIRAŢIEI 761

Oxidările biologice. Warburg şi activarea oxigenului. Keilin şi descoperirea citocromilor. Oxidările prin dehidrogenare. Dehidrogenazele. Fermentaţia alcoolică. Faza aerobă a respiraţiei: ciclul lui Krebs. Fosforilările oxidative

C. TEORIA FOTOSINTEZEI 768

1. *De la 1900 la 1937—1941* 769
Cele două faze ale procesului de fotosinteză. Ipoteza „fotolizei“ apei. Biochimia comparativă. Descoperirea „fotoreducerii“. Nutriția carbonată în calitate de mecanism universal. Pigmenții și structura lor chimică. Randamentul cuantic al fotosintezei

2. *De la 1937 la 1960* 773
Noile direcții ale cercetării. Reînnoirea noțiunii de fotosinteză: D.I. Arnon și școala sa. Fixarea și reducerea CO_2. Ciclul de reducere al carbonului sau ciclul Calvin

D. PRIVIRE ASUPRA UNOR PROBLEME 777
Nutriția minerală. Economia apei. Translocația. Nutriția azotată

CAPITOLUL VIII

BOTANICA (de J. F. LÉROY) 782

A. MORFOLOGIE GENERALĂ 782
Structura plantelor vasculare. Morfologia creșterii și a dezvoltării. Filotaxie. Teoria florii. Paleobotanica. Palinologie. Xilologie și anatomie. Embriologie. Citogenetică. Citologia clasică

B. BOTANICA DE TEREN ȘI FITOGEOGRAFIA 791

1. *Studii biologice și floristice. Explorări* 791
Cercetarea clasică. O cotitură în cercetare. Vavilov și renașterea botanicii aplicate. Marile expediții americane. Etnobotanica. Biosistematica și studiul speciilor. Exploratori. Ierbare. Flore

2. *Geografie. Ecologie* 796
Curentele de la începutul secolului. Braun-Blanquet, F. Clements și fitosociologia. Clasificări referitoare la vegetație. Noțiunea de sinuzie. Studiul vegetației tropicale. Răspîndirea plantelor. Cartografie botanică. Vitalitatea fitogeografiei

C. CLASIFICAREA REGNULUI VEGETAL 801

1. *Briofite* 802

2. *Pteridofite* 802

3. *Spermatofite sau plante cu semințe* 803
Gimnosperme. Angiosperme

4. *Algologie* 806
Algele albastre sau *Schizophycophyta*. Algele verzi sau *Clorophyta*. Algele brune sau *Cromophicophyta*. Algele roșii sau *Rhodophicophyta*

5. *Micologie* 809
Bazidiomicete. Ascomicete. Ficomicete

D. REPRODUCEREA 813
Alge. Ciuperci

PARTEA A CINCEA

MEDICINA (de R. DEBRÉ și G. DESBUQUOIS) 819

CAPITOLUL I

TEHNICI ȘI EXPLORĂRI 823
A. RADIOLOGIE 823
B. ENDOSCOPII 827
C. CATETERISME 828
D. BIOPSII ȘI METODE MICROSCOPICE 828
E. TEHNICI BIOFIZICE ȘI BIOCHIMICE 829
Electrocardiografia. Fonocardiografia. Electroencefalografia. Electromiografia. Tehnici audiometrice. Tehnici oftalmologice. Radioizotopi. Metode de fracționare a proteinelor. Dozările chimice.
F. PROBE FUNCȚIONALE 834
Ficatul. Tiroida. Explorarea funcțională renală. Probele funcționale ale cortico-suprarenalei. Studiul sîngelui. Explorarea funcțională ovariană. Explorarea funcțională testiculară. Explorarea funcțională a paratiroidelor. Explorarea funcțională pancreatică. Probe funcționale respiratorii
G. VIROLOGIE 838
Metode fizico-chimice

CAPITOLUL II

PROGRESE ÎN CUNOAȘTEREA STĂRILOR PATOLOGICE 841
A. GENETICA 841
B. ANAFILAXIE ȘI ALERGIE 843
C. VITAMINE 844
Vitamina A. Vitamina D. Vitamina E. Vitamina K. Grupul vitaminelor B. Vitaminele C și P.
D. ENDOCRINOLOGIE 849
Insulina, hormonul pancreasului. Hormonul paratiroidian. Adrenalina, hormonul medulosuprarenal. Hormonii lobului anterior al hipofizei. Hormonii tiroidieni. Hormonii testiculari. Hormonii ovarului. Hormonii cortexului suprarenal. Hormonii posthipofizei sau ai lobului posterior. Hormonii hipotalamici.
E. BOLILE SÎNGELUI 858
Grupele sanguine. Anticorpii. Tulburările coagulării. Hemoglobinele anormale
F. CARDIOLOGIE 859
G. HIPERTENSIUNEA ARTERIALĂ ȘI BOLILE VASCULARE 861
H. BOLILE RINICHILOR 862
I. BOLILE FICATULUI ȘI PANCREASULUI 864
J. BOLI DE NUTRIȚIE 866
Aspectele preventive
L. PNEUMOLOGIE ȘI TUBERCULOZĂ 868

M. NEUROLOGIE ŞI PSIHIATRIE 872
Dezvoltarea neurologiei clinice. Epilepsiile. Encefalitele. Poliomielita. Investigaţii biofizice şi biochimice. Dezvoltarea psihiatriei. Psihiatria copilului. Şcolaritatea
N. BOLILE INFECŢIOASE 878
O. CANCERUL 883
P. COLAGENOZELE 885

CAPITOLUL III

PROGRESE ALE TERAPEUTICII 888
A. LUPTA CONTRA INFECŢIEI 889
B. TERAPEUTICI BIOLOGICE 890
C. TERAPEUTICI ANTIBIOTICE 892
D. TERAPEUTICI CHIMICE 894
Moderatori ai ritmului cardiac. Diuretice
E. TERAPEUTICI FIZIOLOGICE 898
Hormoni. Vitamine. Transfuzii sanguine. Agenţi coagulanţi şi agenţi anticoagulanţi. Medicaţii antihistaminice. Noile terapeutici ale sistemului nervos şi chemoterapia psihiatrică
F. TEHNICI DE REANIMARE 906
G. RADIOTERAPIE 908
H. EVOLUŢIA CHIRURGIEI 910
Chirurgia ortopedică. Chirurgia toracică. Neurochirurgia. Chirurgia surdităţii. Chirurgia în oftalmologie
CONCLUZII 916
BIBLIOGRAFIA GENERALĂ A PRIMELOR CINCI PĂRŢI 918

PARTEA A ŞASEA

VIAŢA ŞTIINŢIFICĂ

CAPITOLUL I

VIAŢA ŞTIINŢIFICĂ ÎN EUROPA OCCIDENTALĂ (de R. TATON) 925
Germania. Marea Britanie. Franţa. Olanda, Belgia şi Elveţia. Europa mediteraneană. Ţările Scandinave. Europa centrală

CAPITOLUL II

VIAŢA ŞTIINŢIFICĂ ÎN U.R.S.S. (1917–1961) (de A. P. IUŞKEVICI şi V. P. ZUBOV) 932

CAPITOLUL III

ŞTIINŢA ÎN STATELE UNITE ALE AMERICII ÎN SECOLUL AL XX-LEA (de E. MENDELSOHN) 938
Avîntul ştiinţei americane. Cotituri decisive. În prima linie a ştiinţei

CAPITOLUL IV

ŞTIINŢA ÎN AMERICA LATINĂ (SECOLELE XIX—XX) (de R. TATON) 948
Medicina. Botanica. Ştiinţele Pămîntului

CAPITOLUL V

RENAŞTEREA ŞTIINŢIFICĂ ÎN ŢĂRILE ARABE (de B. BEN YAHIA) 952
Cadrul politic. Ştiinţa arabă şi Europa. Renaşterea tîrzie a ştiinţei în lumea arabă. Perspective de viitor

CAPITOLUL VI

ŞTIINŢA INDIANĂ DIN SECOLUL AL XIX-LEA PÎNĂ ÎN ZILELE NOASTRE (de. J. FILLIOZAT) 958
A. ŞTIINŢA TRADIŢIONALĂ 958
Matematica şi astronomia. Chimia. Medicina ayurvedică şi medicina modernă
B. ŞTIINŢA MODERNĂ 961

CAPITOLUL VII

RĂSPÎNDIREA ŞTIINŢEI ÎN VIETNAM, DE LA CUCERIRE PÎNĂ LA DECOLONIZARE (de M. DURAND şi P. HUARD) 964
Conflictul dintre cunoştinţele vietnameze şi ştiinţa europeană. Începuturile mişcării reformiste vietnameze. Reforma învăţămîntului şi rezultatele ei. Poporul vietnamez şi ştiinţa. Răspîndirea ştiinţelor în Vietnam

CAPITOLUL VIII

DEZVOLTAREA ŞTIINŢEI MODERNE ÎN EXTREMUL ORIENT (de J. CHESNEAUX) 968
Progresele ştiinţei moderne în China (1911—1949). Viaţa ştiinţifică în China populară după 1949. Ştiinţa japoneză în secolul al XX-lea

CAPITOLUL IX

ORGANIZAŢIILE ŞTIINŢIFICE INTERNAŢIONALE (de P. AUGER) 975
Înfiinţarea şi activitatea Consiliului Internaţional al Uniunilor Ştiinţifice. Eforturile interguvernamentale

POSTFAŢĂ (de DR. DAN VAMANU) 979
INDICE DE NUME 981
INDICE DE NOŢIUNI 1047
LEGENDELE PLANŞELOR 1071